

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**FAKULTA STROJNÍ**

Katedra částí a mechanismů strojů



**HABILITAČNÍ PRÁCE**

**NÁSTROJE SYSTEMATICKÉ KREATIVITY  
KE ZVYŠOVÁNÍ EFEKTIVITY STROJŮ A ZAŘÍZENÍ**

**TOOLS OF SYSTEMATIC CREATIVITY  
FOR INCREASING OF MACHINES AND EQUIPMENT EFFICIENCY**

Ing. Petr Lepšík, Ph.D.

Vědní obor: Konstrukce strojů a zařízení

**Liberec 2017**

## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych rád poděkoval panu prof. Ing. Ladislavu Ševčíkovi, CSc. vedoucímu Katedry částí a mechanismů strojů, jakož i kolektivu katedry za vytvoření potřebných pracovních podmínek. Dále pak panu doc. Dr. Ing. Ivanu Mašínovi a panu Ing. Pavlu Jirmanovi za spolupráci v oblasti TRIZ, blízkým spolupracovníkům doc. Ing. Michalu Petrů, Ph.D. a Ing. Ondřeji Novákovi, Ph.D. za spolupráci při řešení řady úloh.

Zvláštní dík patří panu prof. Sergeji Ikovenkovi z Massachusetts Institute of Technology (MIT), USA za umožnění výzkumného pobytu na MIT a množství cenných rad v oblasti TRIZ.

V neposlední řadě bych rád poděkovat mé rodině obzvláště pak mé životní partnerce Evě za trpělivost a podporu v mé dosavadní práci.

## ANOTACE

Habilitační práce se zabývá problematikou řešení inovačních úloh při zlepšování technických systémů, resp. při zvyšování efektivity strojů a zařízení.

V práci jsou stručně představeny a zhodnoceny současné metody řešení inovačních úloh. Konvenční metody nevycházejí ze zákonitostí rozvoje technických systémů, jsou zpravidla založeny na kvantitě vygenerovaných návrhů řešení a dnes již, vzhledem k rychlému rozvoji techniky, neposkytují požadované výsledky. Silná řešitelská metoda TRIZ respektující fyzikální a technické zákonitosti rozvoje technických systémů poskytuje požadované výsledky, ale její aplikace je značně náročná, čímž zabraňuje rozšíření jejího praktického využití.

Hlavním cílem práce proto bylo vytvořit zjednodušenou metodu vycházející z metody TRIZ, která systematicky povede řešitele od nejasné problémové situace k formulování inovačního zadání a jeho následnému řešení a bude respektovat zákonitosti rozvoje technických systémů.

Na základě studia metody TRIZ, vlastních řešených úloh a zkušeností byla vytvořena metoda nazvaná *TRIZ for Efficiency* (TfE) sloužící k inovaci strojů a zařízení za účelem zvýšení jejich efektivity i obecně ke zlepšování technických systémů.

Aplikace vytvořené metody TfE byla představena na vlastních úlohách zvyšování efektivity zařízení na výrobu nanovláken procesem elektrostatického zvlákňování z volné hladiny roztoku polymeru. Návrhy řešení byly rozpracovány MKP a ověřeny experimentálně. Poskytnutí specifických poznatků ze zvyšování efektivity zařízení na výrobu nanovláken bylo druhým hlavním cílem práce, který byl naplněn představením úloh *Inovace zásobníku polymeru*, *Studie vlivu velikosti elektrod na proces zvlákňování*, *Inovace přívodem plynného média*, *Inovace kolektoru typu kartáč* a závěrů z nich.

Využívání pokročilých systematických metod při zvyšování efektivity strojů a zařízení je vzhledem k jejich rostoucí složitosti stále více žádoucí nejen při procesu inovace konstrukce strojů a zařízení, ale také v procesu jejich údržby. Z toho důvodu byla metoda TfE doplněna přístupem *TRIZ for Maintenance* (TfMt), zaměřeného na využití nástrojů systematické kreativity v oblasti podnikové údržby. Toto využití je v práci demonstrováno na dílčích příkladech.

V závěru práce jsou shrnuty zjištěné obecné i specifické závěry a jsou uvedeny další oblasti, které by bylo vhodné v budoucnu zkoumat.

## KLÍČOVÁ SLOVA

inovace, systematická kreativita, TRIZ, efektivita, konstrukce strojů a zařízení, elektrostatické zvlákňování, nanovlákn

## ANNOTATION

Habilitation thesis is focused on issue of innovation tasks solving at technical systems improving and efficiency increasing of machines and equipment.

There are briefly presented and evaluated current methods in the first part of work. Conventional methods are not based on laws of technical systems development, they are generally based on the quantity of generated ideas and currently, due to the rapid development of technology, do not provide the sufficient results. Strong problem solving method TRIZ which respects the laws of physics and technical development of technical systems provide the appropriate results, but its application is very demanding, thus preventing the expansion of its practical use.

The main objective of the presented work was to develop a simplified method based on TRIZ method, which systematically lead researcher from the vague formulation of the problem situation to the innovation task and its subsequent solution and will respect the laws of development of technical systems.

A new method called *TRIZ for Efficiency* (TfE) used for innovation of machines and equipment to increase their efficiency and generally to improve technical systems was created based on the studies of TRIZ method, solved tasks and own experience.

Application of created method TfE was introduced in tasks focused on efficiency increasing of equipment for nanofibers production using electrospinning process. The concepts have been optimized by FEM and verified experimentally. Second main goal of the work was to provide specific findings in the field of increasing efficiency of equipment for nanofibers production. This was achieved by introducing tasks *Innovation of polymer reservoir*, *Study of the effect of electrode size*, *Innovation by introducing of blowing gas*, *Innovation of brush collector*) and their conclusions.

The use of advanced systematic methods for increasing the efficiency machines and equipment is due to their growing complexity ever more desirable not only at innovation of machines, but also in the process of their maintenance. For this reason, the method TfE was supported by the approach *TRIZ for Maintenance* (TfMt), focused on the use of tools of TRIZplus method in maintenance. The usage of TfMt is demonstrated on the particular examples in the work.

The general and specific findings and further areas that should be solved in the future are summarized in the conclusion of the work.

## KEY WORDS

innovation, systematic creativity, TRIZ, efficiency, design of machines and equipment, electrospinning, nanofibers



# SEZNAM ZKRATEK, OZNAČENÍ A SYMBOLŮ

## Seznam zkratk

<i>Zkratka</i>	<i>Význam</i>
ARIZ	Algoritmus Řešení Inovačních Zadání (původně rusky: Алгоритм Решения Изобретательских Задач – АРИЗ, anglicky: Algorithm of Inventive Problems Solving)
CECA	analýza příčinně- následkového řetězce (Cause Effect Chain Analysis)
FA	funkční analýza
FOS	funkčně orientované vyhledávání (Function Oriented Search)
FR	fyzikální rozpor
HDI	index rozvoje lidské společnosti (Human Development Index)
HDP	hrubý domácí produkt
IKR	ideální konečné řešení
IP	invenční principy
lim	limita
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
MKP	metoda konečných prvků
MMČ	metoda modelování malinkými človíčky
NMSP	navazující magisterský studijní program
PDPC	Process Decision Program Chart
RCA+	analýza kořenových rozporů (Root Conflict Analysis)
RCA+/OEE	analýza kořenových rozporů mající klíčové nevýhody obsažené v ukazateli OEE
RCA+(q)	kvalitativní větev řetězce RCA+
RCA+(t)	časová větev řetězce RCA+
RCA+(v)	výkonová, resp. rychlostní větev řetězce RCA+
SMED	metoda rychlé výměny nástrojů (Single Minute Exchange of Die)
SP	separační principy
TESE	trendy evoluce technických systémů (Trends of Engineering Systems Evolution)
TfE	TRIZ pro efektivitu (TRIZ for Efficiency)
TfMt	TRIZ pro údržbu (TRIZ for Maintenance)
TR	Technický rozpor
TRIZ	Teorie Řešení Inovačních Zadání (původně rusky.: теория решения изобретательских задач - Teoriya Resheniya Izobretatelskih Zadach, angl.: Theory of Inventive Problem Solving)
2D	dvoudimenzionální
3D	třidimenzionální

## Seznam označení a symbolů

<i>Označení</i>	<i>Jednotky</i>	<i>Popis</i>
OEE	-	celková efektivita zařízení (Overall Equipment Effectiveness)
T	-	koeficient časových ztrát
P	-	koeficient ztrát výkonu
Q	-	koeficient ztrát v oblasti kvality
$t_r$	h	skutečný čas chodu stroje
$t_p$	h	plánovaný čas chodu stroje
$p_r$	ks/h	skutečný počet vyrobených kusů
$p_p$	ks/h	plánovaný počet vyrobených kusů
$q_r$	ks	skutečný počet bezvadných kusů
$q_p$	ks	plánovaný počet bezvadných kusů
$\vec{E}$	$V \cdot m^{-1}$	intenzita elektrického pole
$\vec{F}$	N	působící síla
$q$	C	jednotkový náboj
$r_1, r_2$	m	polohové vektory
$\varphi(r_i)$	V	potenciál elektrického pole
$\vec{D}$	$C \cdot m^{-2}$	vektor elektrické indukce
$\varepsilon_0$	$F \cdot m^{-1}$	permitivita vakua
$\vec{P}$	$C \cdot m^{-2}$	elektrická polarizace
$\chi$	-	elektrická susceptibilita materiálu
$\varepsilon_r$	-	relativní permitivita materiálu
$S$	mm <sup>2</sup>	plocha
$\varepsilon_{ijk}$	-	Levi – Civitův permutační symbol
$W_E$	J	energie elektrostatického pole
p	Pa	tlak
t	s	čas
$\Gamma$	-	hranice oblasti
$\Omega$	-	studovaná oblast
$\alpha$	-	materiálová konstanta plynného média
$\beta$	-	materiálová konstanta plynného média
$\Gamma_1$	-	část hranice 1 oblasti $\Gamma$
$\Gamma_2$	-	část hranice 2 oblasti $\Gamma$
$n$	-	normálový vektor směřující z oblasti $\Omega$

$\bar{p}_k$	Pa	plošné zatížení působící na 3D nanostrukturu
$C_1, C_2$	-	konstanty Winkler-Pasternakova modelu
$\omega$	mm	průhyb
$B$	-	řádková matice bazových funkcí
$u_i^{t+\Delta t}$	-	vektor uzlových posunutí pro i-tou iteraci v čase $t + \Delta t$ .
$a_{-l}$	-	rezidium funkce $f(z)$ v uzlovém bodě $z_0$ , $f(z)$
$\text{Res}[f(z)]_{z=z_k}$	-	rezidium funkce $f(z_k)$ v k-tém uzlovém bodě $z_k$ .
$z_k$	-	k-tý uzlový bod

# OBSAH

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>1</b>
1.1	Úvod do řešené problematiky .....	1
1.2	Cíle práce .....	3
1.3	Členění práce .....	4
<b>2</b>	<b>SOUČASNÉ PŘÍSTUPY K ŘEŠENÍ INOVAČNÍCH ZADÁNÍ .....</b>	<b>5</b>
2.1	Intuitivní přístup a metoda „pokus-omyl“ .....	6
2.2	Konvenční metody řešení problémů .....	6
2.3	Metoda TRIZ .....	9
2.3.1	Klasický TRIZ .....	9
2.3.2	TRIZ+ .....	11
2.3.3	Současný stav využívání TRIZ ve světě a ČR .....	14
2.3.4	Počítačová podpora TRIZ .....	15
2.4	Zhodnocení současného stavu řešení inovačních úloh .....	18
<b>3</b>	<b>NÁVRH METODY ŘEŠENÍ INOVAČNÍCH ÚLOH</b>	
	<b>VYUŽÍVAJÍCÍ NÁSTROJE SYSTEMATICKÉ KREATIVITY .....</b>	<b>20</b>
3.1	Sestavení vlastního algoritmu TřE .....	20
3.1.1	Stručný popis nástrojů obsažených v metodě TřE .....	22
3.1.2	Popis algoritmu po jednotlivých větvích .....	23
3.2	Analýza S-křivky a trend zvyšování stupně ideálnosti technického systému .....	24
3.3	Funkční analýza (FA) .....	28
3.3.1	Analýza komponent .....	29
3.3.2	Analýza interakcí .....	30
3.3.3	Modelování funkcí .....	31
3.4	Analýza kořenových rozporů RCA+ .....	33
3.5	Analýza kořenových příčin a rozporů RCA+/OEE .....	37
3.6	Překonávání technických rozporů pomocí invenčních principů .....	38
3.7	Překonávání fyzikálních rozporů pomocí separačních principů .....	40
3.8	Využití databáze efektů .....	41
3.9	Funkčně orientované vyhledávání (FOS) .....	42
3.10	Trimming .....	43
3.11	Trendy rozvoje technických systémů (TESE) .....	44
<b>4</b>	<b>APLIKACE NAVRŽENÉ METODY PŘI INOVACI ZAŘÍZENÍ .....</b>	<b>47</b>
4.1	Úvod do problematiky zvyšování produktivity zařízení na výrobu nanovláken .....	47
4.2	Identifikace příčin nízké efektivity zařízení metodou TřE .....	51
4.2.1	Analýza S-křivky Nanospideru .....	51
4.2.2	Identifikace nežádoucích funkcí pomocí funkční analýzy (FA) .....	52
4.2.3	Identifikace kořenových příčin, či rozporů pomocí nástroje RCA+ .....	55
4.3	Inovace zásobníku polymerního roztoku .....	59
4.3.1	Řešení technického rozporu pomocí invenčních principů .....	59
4.3.2	Inovované řešení zásobníku polymeru .....	62
4.3.3	Numerická simulace metodou konečných prvků .....	62
4.3.4	Experimentální ověření .....	64
4.3.5	Závěr z úlohy inovace zásobníku roztoku polymeru .....	66
4.4	Studie vlivu velikosti zvlákňovací elektrody na proces zvlákňování .....	67
4.4.1	Numerická simulace metodou konečných prvků .....	68
4.4.2	Experimentální měření .....	70

4.4.3	Závěr studie vlivu velikosti elektrod na produktivitu zvlákňování .....	72
4.5	Inovace přívodem plynného média.....	73
4.5.1	Řešení fyzikálního rozporu separací v čase.....	73
4.5.2	Optimalizace metodou konečných prvků .....	75
4.5.3	Experimentální ověření vlivu proudícího média .....	81
4.5.4	Závěr z úlohy inovace přívodem plynného média.....	83
4.6	Inovace kolektoru typu kartáč .....	83
4.6.1	Popis problému .....	84
4.6.2	Popis konstrukčních řešení nalezených intuitivním přístupem .....	84
4.6.3	Hledání řešení pomocí vlastní metody TřE .....	88
4.6.4	Porovnání časové náročnosti nalezení řešení pomocí intuitivního přístupu a systematického přístupu TřE.....	93
4.7	Studie možností zjednodušení technického systému .....	93
4.8	Prognóza směru dalšího vývoje .....	95
4.9	Inovace přípravku přenosného kontaktního měřicího zařízení.....	97
4.9.1	Popis původního konstrukčního řešení .....	97
4.9.2	Aplikace metody TřE ke zvýšení efektivity měřicího zařízení .....	99
4.9.3	Identifikace problému současných řešení pomocí TřE.....	99
4.9.4	Řešení technických rozporů pomocí invenčních principů.....	101
4.9.5	Řešení fyzikálního rozporu separací v čase.....	105
4.9.6	Návrh řešení inovace přípravku měřicího zařízení .....	106
<b>5</b>	<b>APLIKACE NÁSTROJŮ SYSTEMATICKÉ KREATIVITY</b>	
	<b>V ÚDRŽBĚ STROJŮ A ZAŘÍZENÍ.....</b>	<b>108</b>
5.1	Aplikace příčinně-následkového řetězce na poruchy strojů a zařízení.....	109
5.2	Aplikace funkčně-orientovaného vyhledávání v údržbě .....	111
5.3	Invenční principy v oblasti údržby strojů a zařízení.....	114
5.4	Překonávání technických rozporů v údržbě strojů a zařízení .....	117
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>119</b>
6.1	Závěry práce .....	119
6.2	Přínosy práce .....	122
6.3	Směry dalšího řešení problematiky .....	124
	<b>LITERATURA.....</b>	<b>125</b>

## PŘÍLOHY

Příloha 1: 39 technických parametrů k tabulce eliminace technických rozporů

Příloha 2: 40 invenčních (heuristických) principů překonání technických rozporů

Příloha 3: Tabulka eliminace technických rozporů

Příloha 4: Efekty a jejich použití

# KAPITOLA 1

## ÚVOD

„I do not believe you can do today's job with yesterday's methods and be in business tomorrow.“

Nelson Jackson,  
lékař a automobilový průkopník

### 1.1 Úvod do řešené problematiky

Bezporuchový provoz stroje či zařízení s dodržáním požadovaných provozních parametrů je jedním z předpokladů efektivního výrobního systému, jehož je daný stroj či zařízení součástí. Význam produktivity stroje či zařízení z pohledu výrobního systému stoupá obzvláště u nových, či stále relativně málo produktivních technologií<sup>1</sup>, kde bývá produktivita stroje či zařízení tzv. *úzkým místem*<sup>2</sup> výrobního systému.

**Inovace strojů a zařízení** za účelem zvýšení jejich produktivity se pak stává významnou úlohou, jejíž vyřešení poskytuje výrobcí inovovaných strojů či zařízení konkurenční výhodu přinášející zvýšení zisku.

Obdobný pozitivní efekt vzniká u provozovatele inovovaných strojů. Zařazení inovovaných strojů či zařízení do výrobního systému přináší zvýšení produktivity daného výrobního systému, což má opět za následek růst zisku firmy.

Tyto pozitivní technické a ekonomické efekty, jež obecně **inovace přinášejí**, mají v konečném důsledku vliv na **růst HDP**. Ten vytváří předpoklady a možnosti pro investování státu do zdravotnictví, školství, základního či aplikovaného výzkumu a dalších sektorů, jejichž rozvoj je pro společnost důležitý a vede k růstu **HDI**<sup>3</sup>.

**Inovace konstrukce strojů a zařízení** za účelem zvýšení jejich efektivity i inovace výrobků obecně s sebou přináší **nutnost řešit inovační zadání**.

Inovační zadání může být řešeno celou řadou řešitelských nástrojů, které se od sebe značně liší. Mezi nejčastěji používané postupy stále patří intuitivní přístup, metoda „pokus-omyl“, konvenční metody založené na lineárním, laterálním myšlení či synektice a další. Pomocí těchto metod bylo v minulosti dosaženo mnoha kvalitních řešení, nicméně mají i svá

---

<sup>1</sup> Např. výroba nanovláken procesem elektrostatického zvlákňování.

<sup>2</sup> Pojem úzké místo (*constraint*) pochází z teorie omezení (*Theory of Constraints* - TOC), definované dr. Goldrattem, která říká, že každý výrobní systém má své úzké (slabé, pomalé) místo, které určuje výkon celého výrobního systému. Zvýšení výkonu úzkého místa vede ke zvýšení výkonu celého výrobního systému, proto je zvýšení výkonu tohoto místa prioritou.

<sup>3</sup> HDI (*Human Development Index*) – Index rozvoje lidské společnosti určující kvalitu žití v dané zemi. HDI je dán součinem tří indexů zohledňujících délku lidského života, dobu vzdělávání a HDP. V žebříčku 187 zemí světa je pro rok 2016 Česká republika na 28. místě [38].

omezení a nevýhody. Nevýhodami je, že jsou obecně založeny na tzv. *rychlém myšlení*<sup>4</sup>, na kvantitě vygenerovaných nápadů, jsou příliš svázané osobními zkušenostmi řešitelů, systematicky nepodporují myšlení mimo rámec („*thinking outside of the box*“) či mimo tzv. *vektor psychologické setrvačnosti* ale především primárně nevycházejí z obecných zákonitostí rozvoje techniky a technických systémů.

Inovační úlohy se s rozvojem techniky a technických systémů stávají stále složitějšími. To je dalším důvodem pro přechod od slabších konvenčních metod k silnějším systematickým metodám kreativity, vycházejícím z obecných zákonitostí rozvoje techniky.

Silným řešitelským nástrojem systematické kreativity je **metoda TRIZ** (původně rusky: *теория решения изобретательских задач - Teoriya Resheniya Izobretatelskih Zadach*, anglicky: *Theory of Inventive Problem Solving*, česky: *Teorie (příp. Tvorba a) Řešení Inovačních Zadání*). Metoda TRIZ vznikla studiem a rozбором mnoha set tisíců patentů vyšší úrovně a zobecňováním úspěšných řešení. Bylo zjištěno, že silná invenční řešení jsou dosahována poměrně malým počtem objektivně používaných řešitelských postupů. Poznání těchto postupů zvyšuje efektivitu studia techniky a jejich respektování vede k efektivnímu zdokonalování techniky v praxi [34]. V dnešní době je metoda TRIZ respektovanou metodou rozšířenou do mnoha zemí světa. I přes zjevné výhody metody TRIZ, spočívající především v systematickém přístupu a respektování zákonitostí rozvoje techniky má tato metoda i určité nevýhody. Těmi jsou především relativní složitost metody a její obtížné využití v běžné praxi. Tyto nevýhody vycházejí z nutnosti orientovat se ve složité terminologii i velkém množství nástrojů, které ve většině dostupné literatury [1-28] nejsou na uživatelsky přijatelné úrovni zalgoritimizovány.

Tím se metoda stává řešitelským nástrojem pro relativně úzký okruh odborníků, především těch, stojících u zrodu této metody, jejich žáků a přímých následovníků podílejících se na rozvoji této metody.

I obecně uznávaný algoritmus ARIZ vyžaduje znalost nástrojů metody TRIZ na poměrně pokročilé úrovni jak do šíře (množství) použitých nástrojů, tak do hloubky jejich použití, jež zpravidla přesahují možnosti časové dotace věnované metodám systematické kreativity na technických fakultách VŠ v ČR.

Potenciál této metody by mohl být více využit a rozšířen pro praktické využití, pokud by mj. vybrané, jednodušejí uchopitelné nástroje metody byly zasazeny do algoritmu, který by poskytoval jednoznačnější návod na jejich využití. Existence takovéto metodiky by pak poskytovala možnost rozšířit základnu konstruktérů disponujících a na každodenní bázi používajících nástroje systematické kreativity při inovaci strojů, zařízení i výrobků obecně.

Z výše uvedeného a blíže doloženého v kap. 2.4 vyplývá, že narážíme jednak na **pedagogický problém**, spočívající v tom, **jakým způsobem metodu TRIZ vyučovat**, aby se stala základní osvojitelnou a **osvojenou dovedností strojního inženýra** a nalezla tak využití na každodenní bázi a také na **odborný problém** vyžadující analýzu metody TRIZ a **návrh zjednodušené metody vycházející z TRIZ**.

**Využívání pokročilých systematických metod** při zvyšování efektivnosti strojů a zařízení je vzhledem k rostoucí složitosti strojů a zařízení stále více žádoucí nejen **při procesu inovace konstrukce strojů** a zařízení, ale také **v procesu jejich údržby**, jež je nedílnou součástí jejich efektivního provozu.

<sup>4</sup> Daniel Kahneman (\*1934, Israel), držitel Nobelovy ceny za ekonomii z r. 2002, profesor na Princeton University v USA ve své knize *Myšlení rychlé a pomalé* [39] popisuje systém pomalého a rychlého myšlení, přičemž uvádí, že silnějších řešení je dosahováno tzv. pomalým myšlením obsahujícím systematický přístup.

Zástupcem **aktuální oblasti**, kde je kladen tlak na **zvyšování efektivity** výrobního zařízení je oblast výroby nanovláken procesem elektrostatického zvlákňování z volné hladiny polymerního roztoku. Problematika nanovláknenných materiálů a vývoje **zařízení na výrobu nanovláken** je v posledních letech jedním z nosných témat Technické univerzity v Liberci i dílčím tématem autorovi odborné činnosti (viz např. [65, 69-77, 134, 135]).

Z toho důvodu bude v této práci **problematika systematického přístupu** k inovaci technických systémů (strojů a zařízení) za účelem zvyšování jejich efektivity **demonstrována na úlohách týkajících se zvyšování efektivity zařízení na výrobu nanovláken**, jejichž závěry přinášejí **specifické poznatky** z této oblasti.

Z výše uvedeného vyplývá, že téma zvyšování efektivity strojů a zařízení nástroji systematické kreativity je významné a aktuální.

## 1.2 Cíle práce

Na základě výše uvedeného byly vytyčeny cíle předkládané habilitační práce. Autor si vytyčil následující dva hlavní cíle, kterých bude dosaženo naplněním dílčích cílů.

Prvním hlavním cílem práce je **vytvoření metody zvyšování efektivity strojů a zařízení využívající nástrojů systematické kreativity**. Tohoto hlavního cíle bude dosaženo splněním následujících dílčích cílů:

- **rozboru a kritickém zhodnocení** stávajících přístupů a metod řešení inovačních zadání v oblasti zvyšování efektivity strojů a zařízení (kap. 2),
- **navržením metody** zvyšování efektivity strojů a zařízení a popis jejich nástrojů (kap. 3),
- **aplikací metody** na inovační zadání různých technických úloh (kap. 4),
- **popisem způsobu využití nástrojů systematické kreativity v údržbě strojů a zařízení** s uvedením dílčích příkladů (kap. 5),
- **shrnutím závěrů**, stanovením přínosů navržené metody a doporučením dalšího vývoje (kap. 6).

Splnění vytyčeného cíle by mělo přispět k dílčímu rozvoji vědního oboru konstrukce strojů a zařízení, především ve smyslu poskytnutí ucelené a relativně snadno aplikovatelné metodiky sloužící k inovaci konstrukcí strojů a zařízení za účelem zvyšování jejich efektivity i k **inovaci technických systémů** obecně. Doplnujícím výstupem práce bude návrh využití nástrojů systematické kreativity při údržbě strojů, jež je nedílnou součástí jejich efektivního provozu.

Druhým hlavním cílem je **poskytnout specifické poznatky ze zvyšování efektivity zařízení na výrobu nanovláken** procesem elektrostatického zvlákňování z volné hladiny polymerního roztoku. Tento druhý hlavní cíl by měl, jednak po praktické stránce demonstrovat využití vytvořené metody, a také poskytnout sadu poznatků z vývoje zařízení na výrobu nanovláken, jež je v současné době aktuálním tématem.

Tohoto cíle bude dosaženo představením vlastních inovačních úloh vztahujících se k většině hlavních dílů zařízení na výrobu nanovláken a představením závěrů z těchto úloh, kterými jsou:



- inovace zásobníku polymerního roztoku,
- studie vlivu velikosti zvlákňovací elektrody na proces zvlákňování,
- inovace kolektoru přívodem plynného média,
- inovace kolektoru typu kartáč.

Práce si tedy klade za cíl poskytnout **zobecněné poznatky** ze zvyšování efektivity strojů a zařízení nástroji systematické kreativity, kde lze **vlastní vytvořenou metodu** mající **nadoborový charakter** použít k inovacím technických systémů (strojů, zařízení i výrobků obecně).

Dále by práce měla poskytnout **specifické závěry** a poznatky z oblasti zvyšování efektivity zařízení na výrobu nanovláken procesem elektrostatického zvlákňování z volné hladiny roztoku polymeru.

### 1.3 Členění práce

Práce je členěna do celkem šesti kapitol. Po této úvodní kapitole, seznamující s úvodem do problematiky, vytyčenými cíli a členěním práce následuje kapitola zabývající se rozбором a zhodnocením stávajících přístupů a metod k řešení inovačních zadání v oblasti zvyšování efektivity strojů a zařízení. Třetí kapitola je věnována návrhu vlastní metody, vycházející z metody TRIZplus. Čtvrtá kapitola je zaměřena na aplikaci navržené metody v úlohách inovace strojů a zařízení za účelem zvýšení jejich efektivity. Pátá kapitola uvádí možnosti využití nástrojů systematické kreativity v oblasti údržby strojů a zařízení, jež je nedílnou součástí jejich efektivního provozu. V šesté kapitole jsou shrnuty závěry, přínosy práce a doporučení dalšího vývoje.

Předkládaná práce navazuje na předchozí autorovu činnost v oblastech inovace a zvyšování efektivity strojů a zařízení, např. [65, 69-77, 108-117, 134, 135] i inovace dalších technických systémů, např. [62-64, 118-122]. **V životním cyklu technického systému** (stroje, zařízení, výrobku obecně) téma **práce zaujímá místo** v oblasti **generování konceptu** inovovaného technického systému, jež je **ranou fází konstrukční fáze vývoje technického systému**.

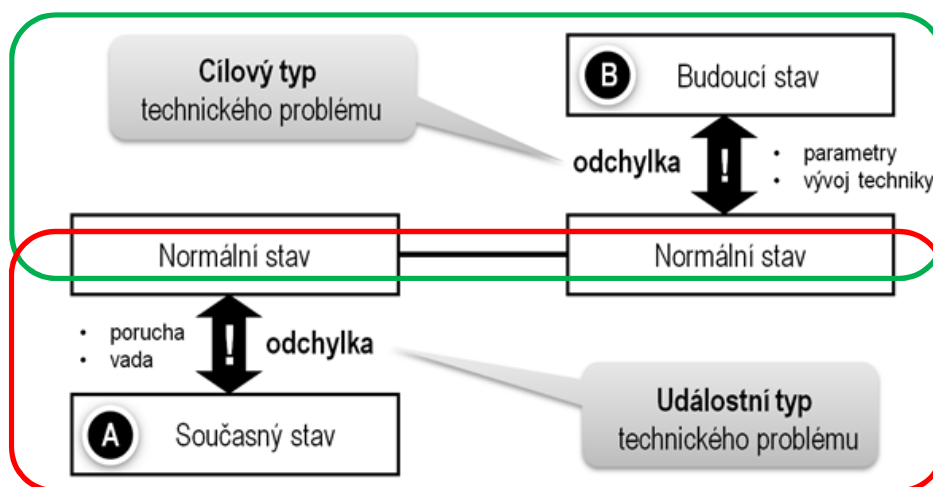
## KAPITOLA 2

### SOUČASNÉ PŘÍSTUPY K ŘEŠENÍ INOVAČNÍCH ZADÁNÍ

Tato kapitola je věnována představení a zhodnocení stávajících přístupů k řešení inovačních zadání. Zvyšování efektivity strojů a zařízení lze provádět ve dvou hlavních oblastech (viz obr. 2.1):

- **oblast I – zlepšování stávajících strojů a zařízení - inovace** stroje či zařízení za účelem **zlepšení hlavních funkcí (produktivity)**, příp. vedlejších funkcí stroje či zařízení, či optimalizace parametrů,
- **oblast II – eliminace či redukce ztrát v provozu** stroje či zařízení.

#### Oblast I – Zlepšování stávajících strojů a zařízení



#### Oblast II – Eliminace či redukce ztrát v provozu zařízení

Obr. 2.1 Úlohy při zvyšování efektivity strojů a zařízení [34]

Primárně v této práci bude věnována pozornost zvyšování efektivity strojů a zařízení v oblasti I a to prostřednictvím **inovace** stávajícího stroje či zařízení. Inovace technických systémů s sebou přináší nutnost řešit inovační zadání. **Inovační zadání** může být řešeno:

- intuitivně,
- metodou pokus-omyl,
- systematicky konvenčními metodami,
- systematicky nástroji systematické kreativity, respektující zákonitosti rozvoje technických systémů.

Ve druhé oblasti je hovořeno o redukci ztrát v provozu stroje či zařízení. V zobrazené rovině je definováno tzv. 6 velkých ztrát v provozu zařízení, viz tab. 2.1.

**Tab. 2.1** Šest velkých ztrát v provozu zařízení [41]

<i>Prostoje:</i>	1. Poruchy vyplývající z chyb na zařízení. 2. Seřizování a ustavování (výměna přípravku, nástroje, materiálu apod.).
<i>Ztráty rychlosti:</i>	3. Nečinnost a malé přestávky (abnormální činnost senzorů, blokování ve skluzech apod.). 4. Redukce rychlosti (nesoulad mezi navrženou a skutečnou rychlostí zařízení).
<i>Chyby:</i>	5. Chyby v procesech a opravy (zmetky a nedostatky v kvalitě výrobků, které potřebují opravu). 6. Výskyt času mezi startem stroje a stabilním provozem (náběh stroje).

Níže budou stručně přiblíženy přístupy a metody řešení problémů při zvyšování efektivity strojů a zařízení.

## 2.1 Intuitivní přístup a metoda „pokus-omyl“

### Intuitivní přístup

Intuitivní posouzení či řešení problémové situace je založeno na rozhodování, které není zprostředkováno žádným systematickým postupem a ačkoli bývá velmi často doprovázeno pocitem jasnosti a jistoty, není podloženo žádnými argumenty.

Empirické výzkumy [42] ukazují, že např. praktičtí konstruktéři používají při řešení běžných technických problémů intuitivní přístupy zcela běžně. To je dáno především snadností a rychlostí použití tohoto přístupu.

Dle [43] byly nalezeny důkazy o tom, že systematictější přístupy k řešení problémů dosáhly fakticky lepších a robustnějších řešení. [33]

### Metoda „pokus-omyl“

Metoda „pokus-omyl“ je nejstarší metodou vytváření technických systémů. Tato metoda vyžaduje soustavné generování velkého množství námětů pro řešení daného problému. Neexistují při ní žádná pravidla a proces hledání správného řešení zpravidla vykazuje vysokou nahodilost. Jestliže je jedno z řešení posouzeno jako nevyhovující, je opuštěno a je generováno další řešení. Tento proud námětů řešení, který nepodléhá žádné kontrole, má tolik pokusů, kolik je potřeba k nalezení správného řešení. Klasickým představitelem této metody je T. A. Edison, který při vynalézání žárovky provedl přes 6000 experimentů a vyzkoušel obrovské množství variant materiálů vlákna, než našel uspokojivé řešení.

Metoda pokusů a omylů byla akceptována v době, kdy se svět techniky teprve rodil. V případě, že bychom na jejím základě chtěli udržet tempo rozvoje vynálezecké činnosti, museli bychom za stůl či do laboratoře experimentátora posadit celou populaci naší planety. Tento nedostatek měly a mají za cíl odstranit systematictější metody řešení problémů. [33]

## 2.2 Konvenční metody řešení problémů

K tomu, abychom byli v současné době úspěšní při řešení technických problémů, zpravidla nemůžeme spoléhat na správnost intuice či štěstí při experimentování metodou pokus-omyl, ale musíme postupovat systematicky.

Nutný posun v přístupu od nahodilého k systematickému řešení problémů s sebou přinesl vytvoření celé řady relativně jednoduchých metod kreativního řešení problémů, které jsou v praxi již mnoho let využívány (proto jsou označovány za konvenční či tradiční metody). Konvenční metody pro kreativní řešení problémů jsou běžně využívány v oblastech inovace výrobku (tvorba konceptu inovovaného výrobku, identifikace a eliminace kořenové příčiny technického problému, plánování výrobku) i inovace procesu (zlepšení procesu, zvýšení stability procesu, plánování procesu). Pro případ zvyšování efektivity strojů či zařízení je to oblast inovace stroje či zařízení a oblast inovace procesu údržby stroje či zařízení. Přehled třiceti nejčastěji používaných konvenčních metod pro kreativní řešení problémů je uveden v tab. 2.2

**Tab. 2.2** Přehled vybraných konvenčních metod pro kreativní řešení problémů [32]

Č.	Metoda	Oblast využití při zvyšování efektivity zařízení					
		Inovace zařízení			Údržba zařízení		
		Tvorba návrhu řešení	Plánování výrobku (projektu)	Hledání kořenové příčiny	Plánování procesu	Zlepšení procesu	Zvýšení stability procesu
1	Brainstorming	X	X			X	
2	Brainwriting	X	X	X			
3	5x proč			X		X	X
4	Stratifikace			X		X	X
5	Frekvenční tabulka			X		X	X
6	Histogram			X		X	X
7	Paretova analýza			X		X	X
8	Diagram příčin a následků			X	X	X	X
9	Analýza rozptylu a trendu			X		X	X
10	Kontrolní diagram					X	X
11	Afinní diagram	X	X		X	X	
12	Relační diagram		X	X			
13	Stromový diagram		X	X	X		
14	Maticový diagram		X	X			
15	Diagram maticové analýzy dat	X	X				
16	Šipkový diagram		X	X		X	
17	PDPC diagram		X		X	X	X
18	Laterální myšlení	X				X	
19	Analogie	X					
20	Metafora	X					
21	Myšlenková mapa	X				X	
22	Delfská metoda	X					
23	Synektika	X	X			X	
24	Metoda NGT	X	X	X	X	X	
25	Psaní scénářů	X	X				
26	Kontrolní list	X	X		X	X	
27	Morfologická matice	X	X		X	X	
28	Kolo příležitostí	X	X				
29	Matice příčin			X			X
30	Matice „je-není“			X			X

Tyto metody pokrývají buď celý, nebo určité části obecného algoritmu řešení problémů:

- 1) definice problému
- 2) analýza problému
- 3) sběr dat
- 4) interpretace dat
- 5) hledání alternativ řešení
- 6) výběr řešení
- 7) zhodnocení navrženého řešení

Blíže jsou tyto metody popsány např. v [32]. Společnými znaky a zároveň přínosy používání těchto metod je:

- řešení problémů na vyšší úrovni než kterou poskytuje metoda pokus-omyl,
- práce podle určité metodiky,
- možnost rutinní práce při řešení problémů,
- zvýšení počtu navržených řešení,
- formální záznam postupu řešení,
- znázornění (vizualizace) problému a vazeb,
- možnost diskuse založené na faktech a další.

### **Zhodnocení konvenčních metod**

Tyto konvenční metody kreativního řešení problémů našly uplatnění v mnoha situacích a bylo jimi dosaženo mnoho dobrých výsledků. Obecně se ale jednalo o technická řešení na nižší úrovni. Z dnešního pohledu mají tyto metody určité společné charakteristiky:

- určitá nahodilost při hledání idejí,
- vygenerování vyššího počtu námětů na řešení,
- nutnost využívání psychologických faktorů,
- selhávají při řešení složitějších problémů. [33]

Velké množství nápadů vygenerovaných těmito metodami ještě nezaručuje dosažení inovativního řešení – naopak přidává práci při jejich vyhodnocování a zkracuje čas pro realizaci. Tyto metody jsou určitým vylepšením metody „pokus - omyl“. Při používání těchto metod si člověk neuvědomuje, že se snaží vnutit novým řešením svou vůli, své myšlení a zkušenosti, které však často zavedou řešitele na slepou cestu.

V tomto případě je nutné připomenout, že výsledky konvenčních metod kreativního řešení technických úloh jsou významně ovlivněny ať už jednotlivcem (např. znalosti, zkušenosti) nebo interakcemi při týmové práci. Při použití konvenčních metod není zaručeno, že nalezené řešení bude „správným“ nebo inovačním řešením. Ignorování zákonů a zákonitostí, kterým podléhají technické systémy, se potom jeví hlavní příčinou neefektivnosti konvenčních metod kreativního řešení problémů. Psychologie jako věda o zákonitostech a formách duševní činnosti (aktivitě) člověka, rovněž nemůže výrazně pomoci při rozvoji technických systémů, protože se zabývá změnami ve vnitřním světě člověka a není orientována na strukturu a změny přírodních (technických) elementů.

Podstatnou a nutnou podmínkou pro vyřešení technických problémů se stále častěji stává akceptace fyzikálních zákonů a zákonitostí rozvoje techniky. Do úvahy je totiž nutné vzít „techniku“ jako modifikovaný element přírody, který se vyvíjí nezávisle na vůli člověka.

Má své vlastní zákonitosti vývoje. Tyto zákonitosti nelze odvodit z myšlení lidí, ale z nashromážděných výsledků lidské činnosti v oblasti techniky.

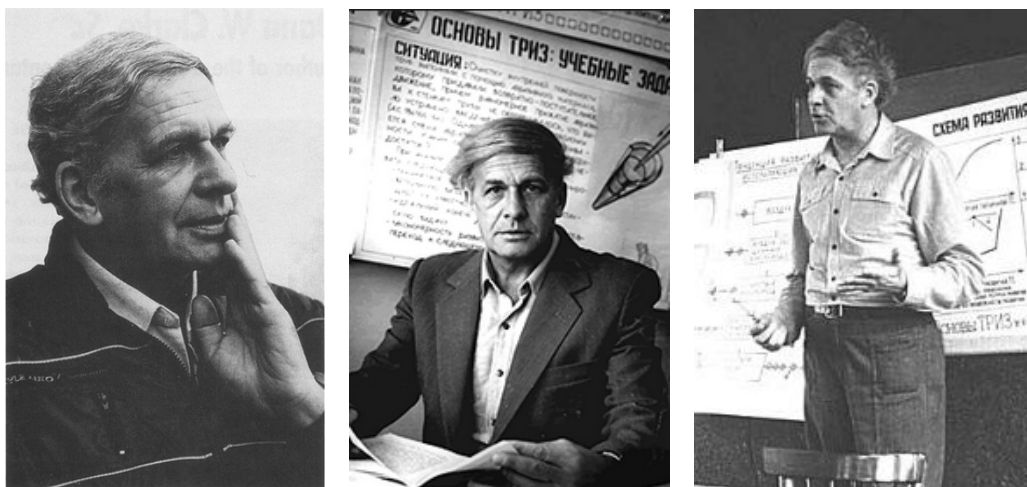
Ignorování zákonů rozvoje technických systémů se jeví jako hlavní příčina neefektivnosti konvenčních metod v případech řešení složitých technických problémů. V těchto případech je vhodné aplikovat pokročilé metody kreativního řešení technických úloh, které vycházejí z metody TRIZ. [34]

## 2.3 Metoda TRIZ

**Metoda TRIZ** (*Теория решения изобретательских задач, Theory of Inventive Problem Solving, Teorie Řešení Inovačních Zadání*) vznikala studiem mnoha set tisíců patentů a zobecňováním úspěšných postupů řešení. Bylo zjištěno, že silná invenční řešení jsou dosahována poměrně malým počtem objektivně používaných řešitelských postupů. Poznání těchto postupů zvyšuje jak efektivitu studia techniky, tak zdokonalování techniky v praxi. [32]

### 2.3.1 Klasický TRIZ

Autorem metody TRIZ je Genrich Saulovič Altshuller<sup>5</sup> (obr. 2.2). Autor na ní pracoval od roku 1946 do konce života (r. 1998), stále ji vylepšoval a mnoha publikacemi, např. [1-8], propagoval. Základním cílem jeho snah bylo odhalit zákony platné při rozvíjení technických systémů a využít je k vynalézání bez náhodného bloudění.



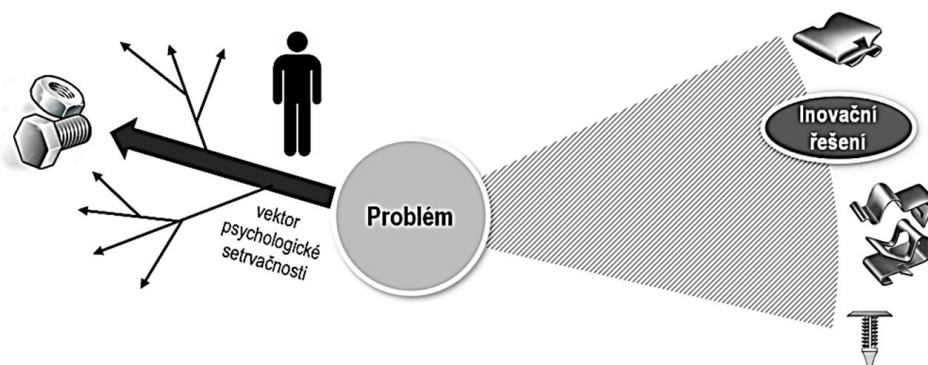
**Obr. 2.2** Genrich Saulovič Altshuller – autor metody TRIZ [44-46]

TRIZ je v současnosti hlavním vědeckým způsobem řešení inženýrských inovačních úloh s dvěma zásadními efekty:

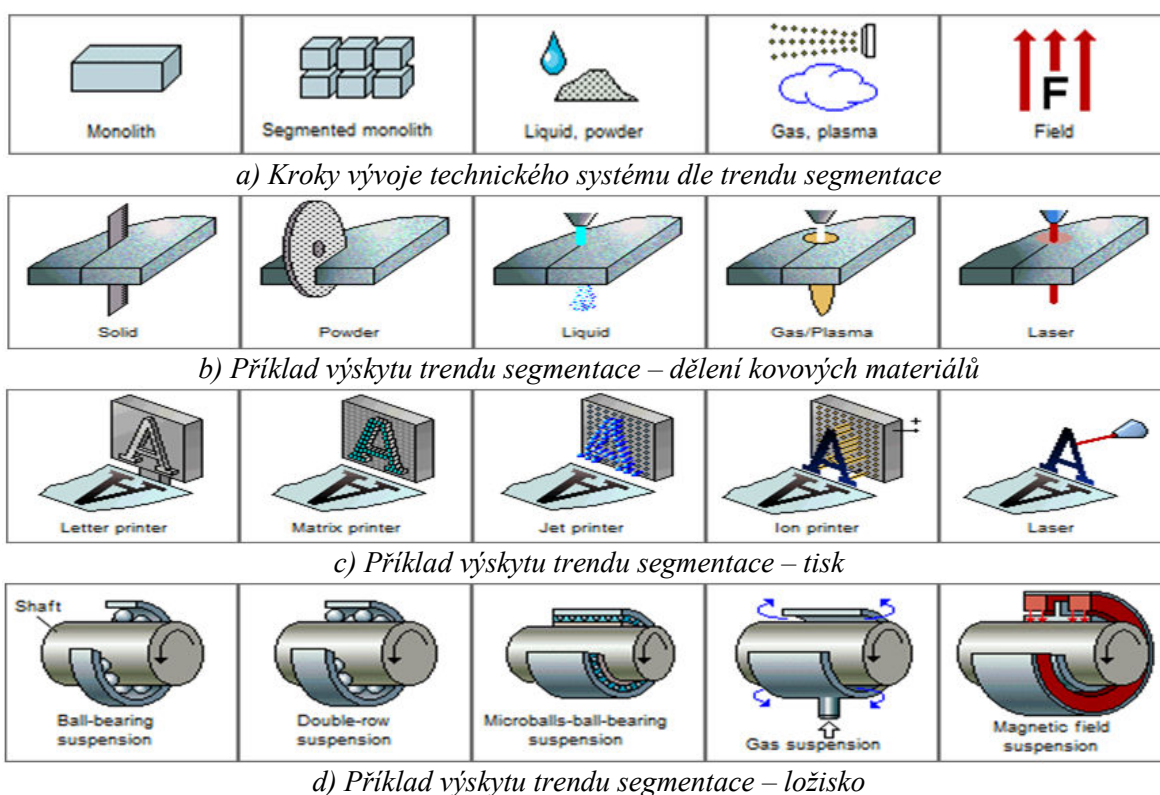
- zvyšuje kreativitu lidí a pomáhá překonávat bariéry psychologické setrvačnosti (obr. 2.3),

<sup>5</sup> G. S. Altshuller (1926-1998) byl sovětský inženýr, vynálezce, vědec – tvůrce metody TRIZ (jeho klasické formy).

- dává nám možnost předvídat vývoj budoucí generace výrobků, systémů a metod (obr. 2.4).



Obr. 2.3 Vektor psychologické setrvačnosti [34]



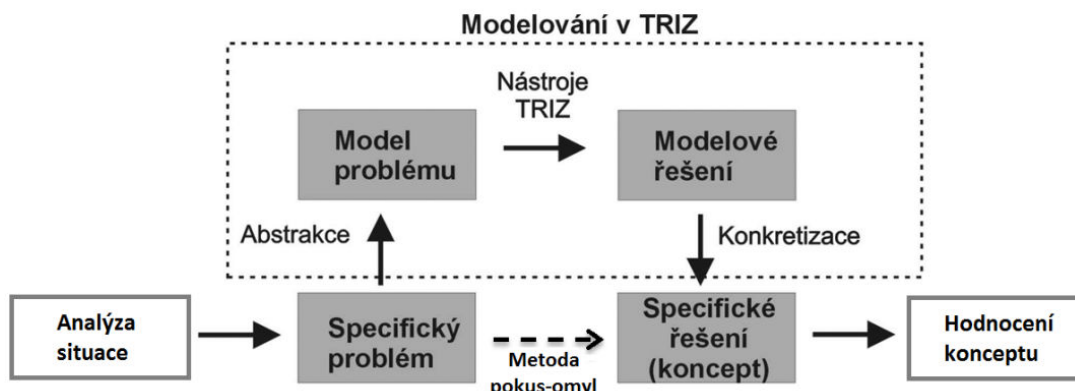
Obr. 2.4 Příklad jednoho z trendů rozvoje technických systémů s příklady

Metoda TRIZ vychází ze dvou zásad:

- technické systémy se rozvíjejí vždy překonáváním technického nebo fyzikálního rozporu,
- vznik a rozvoj technických systémů probíhá ve shodě s objektivními trendy rozvoje techniky (obr. 2.4).

V metodě TRIZ je jako základní myšlenkový postup využit princip modelování objektivní reality. V modelu lze zjednodušit složité vztahy reálných objektů a převést je na abstraktní modely, které jsou pochopitelné. Modelové řešení pak vychází ze vzorů objevených Alshullerem a jeho následovníky, které přešly do nástrojů TRIZ. Modelové řešení lze pak

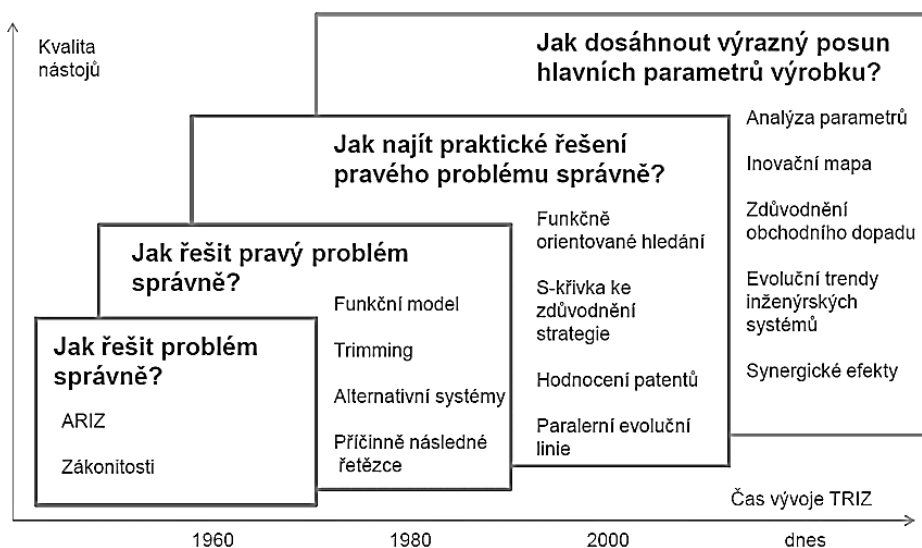
převést na specifické řešení a navržení konceptu řešení s vyšším inovačním potenciálem. [34] Rozdíl řešení metodou TRIZ a metodou pokus-omyl je patrný z obr. 2.5.



Obr. 2.5 Obecný model řešení metodou TRIZ a intuitivním přístupem

### 2.3.2 TRIZ+

Z klasické metody TRIZ se za přispění Altshullerových žáků (např. S. Ikovenka (MIT, GEN3, USA), B. Zlotina, A. Zusman (Ideation, USA) a dalších následovníků)<sup>6</sup> rozvinul komplexní systém, nesoucí název TRIZ+, či jen TRIZ, který je významnou součástí tzv. inovační vědy (obr. 2.6).



Obr. 2.6 Rozvoj metody TRIZ do inovační vědy podle S. Ikovenka [34]

Metoda TRIZ využívá funkce ve funkčně objektové analýze, která pomáhá nalézt odpověď na otázky „co?“ a „proč?“ má být v technickém systému zlepšeno. Studium prvků, vazeb, funkcí, parametrů technického systému lze vybrat správná inovační zadání v souladu se zákonitostmi vývoje technických systémů. Odpověď na otázku „jak?“ řešit vybraná

<sup>6</sup> Tito Altshullerovi následovníci působili na FS TU v Liberci v rámci autorem vedeného projektu „CREATex – excellence v metodách systematické kreativity“ jakožto zahraniční experti.



inovační zadání pomáhají získat nástroje TRIZ, které zahrnují jednotlivé i komplexní postupy [47]<sup>7</sup>:

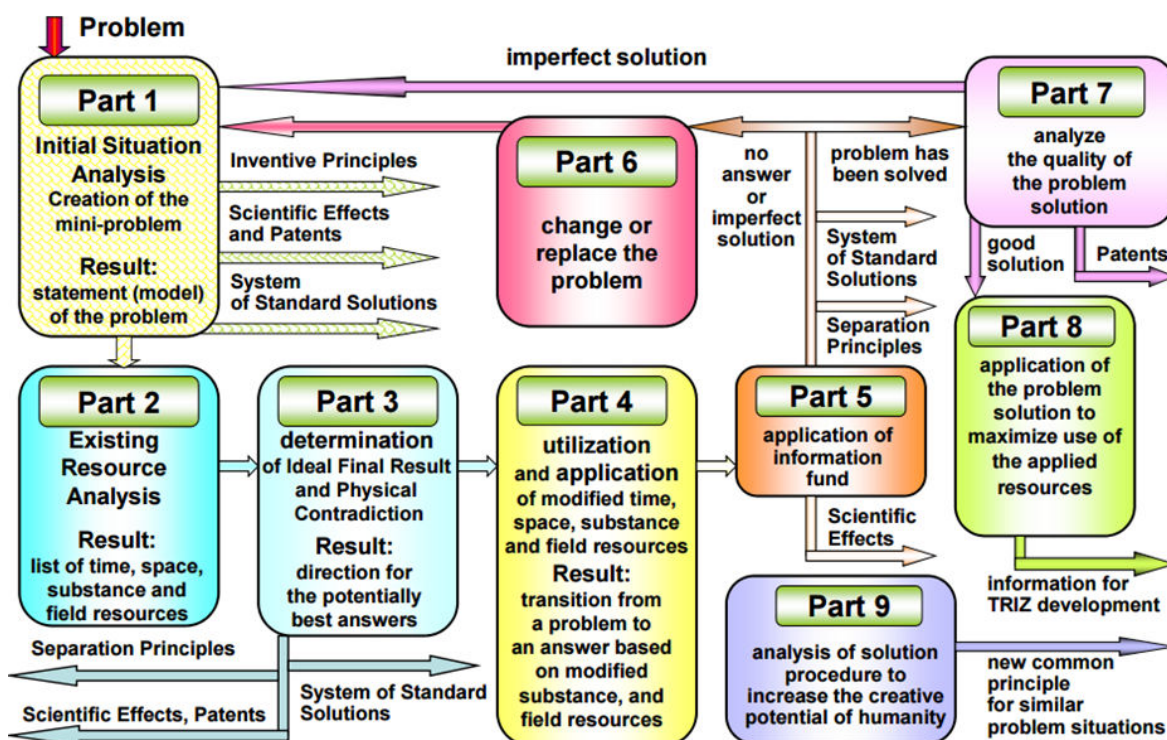
- Trendy evoluce technických systémů (*Theory of Engineering Systems Evolution – TESE*),
- Zákonitosti, trendy, paternity, linie vývoje technických systémů (*Laws, Trends, Patterns and Lines of Technology Evolution*),
- 9 obrazový diagram, resp. systémové myšlení v 9 obrazech (*Multi-Screen Diagram, resp. 9 Windows, Screens, System Operator*),
- *Multi-Screen Analysis - MSA*,
- Ideálnost (*Ideality*),
- Ideální konečné řešení - IKR (*Ideal Final Result - IFR*),
- Analýza rozporů (*Contradiction Analysis*),
- Analýza zdrojů (*Resource Analysis*),
- Funkční analýza – FA (*Function Analysis, Function-Attribute Analysis, Function-Cost Analysis*),
- Formulátor problémů Ideation (*Ideation Problem Formulator*),
- Analýza kořenových rozporů (*Root Conflict Analysis - RCA+*),
- 40 invenčních principů řešení technických rozporů (*40 Inventive Principles for Resolving Contradictions*),
- Matice technických rozporů (*Matrix for Resolving Technical Contradictions, Contradiction Matrix, Altshuller Matrix*),
- 11 principů řešení fyzikálních rozporů, resp. separační principy řešení fyzikálních rozporů (*11 Principles for Physical Contradiction Elimination*),
- Vepolová analýza (*Substance-Field Analysis, Su-Fi, S-Field Analysis*),
- Standardy (*76 Inventive Standards*),
- Algoritmus řešení invenčních zadání (*Algorithm of Solving Inventive Problems - ARIZ*),
- Trimming, svinování (*Trimming, Idealization*),
- *Alternative System Merging, Feature Transfer, Hybridization*,
- Efekty (*Catalogs of Physical, Chemical and Geometrical Effects*),
- Malý chytří lidé, metoda modelování malinkými človíčky MMČ (*Modeling with Miniature Dwarfs, Little Men Method*),
- *Demand/Trend Matrix (DTM)*,
- *Problem Flow Technology*,
- *Value-Conflict Mapping (VCM)*,
- *Radar Plotting and Evolutionary Potential Analysis*,
- *Evaluation Techniques and Ideas Landscaping*,
- *Subversion Analysis, Anticipatory Failure Determination*,
- *Creative Imagination Development Techniques*,
- *Theory of Creative Personality Development*,
- *TRIZ for Business and Management*.

Popis a výklad jednotlivých nástrojů výrazně převyšuje rozsah této práce, bližší popis nástrojů TRIZ+ lze nelézt v některé z publikací [9-31].

<sup>7</sup> Některé z nových nástrojů doposud nemají ustálený český překlad, proto je uvedeno ustáleným termínem v anglickém jazyce.

Řada z uvedených publikací uvádí pouze popis vybraných metod. Pro možnost využití metod je žádoucí znát vazbu na ostatní nástroje, sekvence použití nástrojů, vhodnost výběru nástroje dle typu zadání apod. Za tímto účelem jsou vytvářeny algoritmy použití nástrojů TRIZ.

Obecně uznávaným algoritmem je *Algoritmus Řešení Inovačních Zadání* – ARIZ (rus.: *Алгоритм Решения Изобретательских Задач* – АРИЗ, angl.: *Algorithm of Inventive Problems Solving*) [48]. Tento algoritmus existuje ve více variantách (ARIZ, ARIZ-68, ARIZ-71, ARIZ-77, ARIZ-82, ARIZ-85C [49])<sup>8</sup>, poslední z modifikací algoritmu, ARIZ-85C poskytuje proceduru 85 kroků uspořádaných do 9 fází (viz obr. 2.7) k řešení komplikovaných inovačních zadání. Nevýhodou algoritmu ARIZ je jeho relativní složitost vyžadující pokročilou úroveň znalostí a zkušeností řešitele v oblasti TRIZ. To znesnadňuje širší použití tohoto algoritmu v běžné inženýrské praxi.

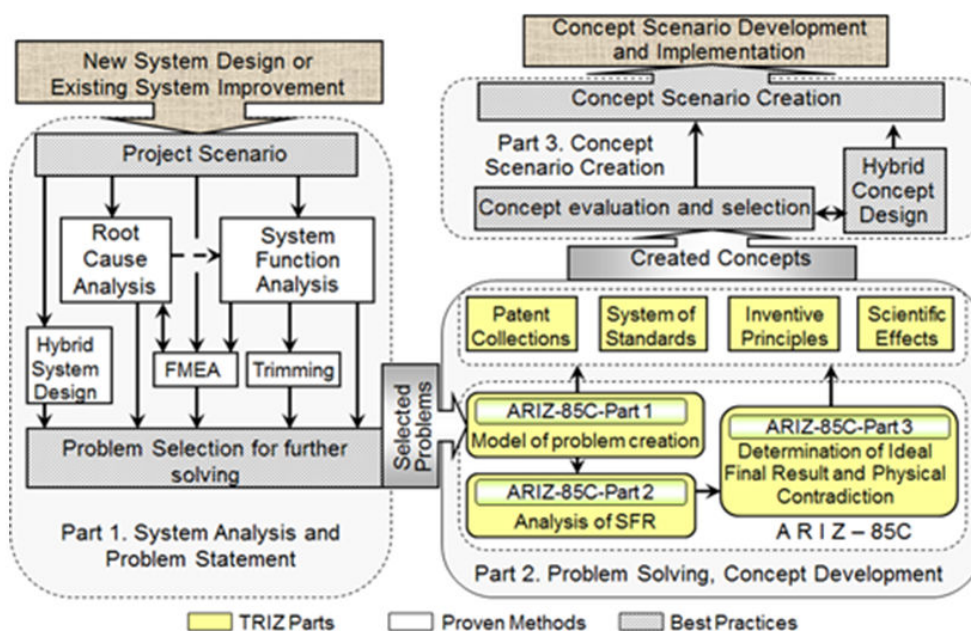


**Obr. 2.7** Struktura algoritmu ARIZ-85C [49]

Další doporučené řešitelské postupy, využívající širší spektrum nástrojů, se v dostupné literatuře do jisté míry liší v závislosti na přístupu autora či řešitele a na typu inovační úlohy. Různé typy “*TRIZ road maps*” lze nalézt v [50]. Na obr. 2.8 je např. uvedena inovační mapa dle Buckmana<sup>9</sup> [51].

<sup>8</sup> Číslo v názvu vyznačuje rok vytvoření metody.

<sup>9</sup> Jeden z přímých Altshullerových následovníků.



Obr. 2.8 Inovační mapa dle Buckmana [51]

### 2.3.3 Současný stav využívání TRIZ ve světě a ČR

Většina lokálních (národních) asociací či organizací zabývajících se aplikací a rozvojem metody TRIZ je sdružena v celosvětové asociaci MA TRIZ [53], založené roku 1997 G. S. Altshullerem, který byl zároveň jejím prvním prezidentem, současným prezidentem asociace je S. Ikonen. Tato asociace se zabývá především rozvojem a popularizací metody, edukací a přenosem do aplikační sféry.

#### TRIZ v průmyslové praxi

Metoda TRIZ, zformulovaná v 60. až 70. letech minulého století v Sovětském svazu, zažila velký rozvoj odchodem jejích tvůrců počátkem 90. let do USA i dalších částí světa, kde přinesla nebývalý a rychlý nárůst počtu inovačních řešení. Dnes se touto metodou zabývá ve světě tisíce řešitelů ve velkých světových firmách (Siemens, Motorola, Ford Motor, NASA, Xerox, General Electric, Kodak, General Motors, SAAB Scania, SKF, Procter and Gamble, ABB, Gillette, Lockheed, 3M, Mitsubishi, Dassault Systeme [52], Philips, Microsoft, Shell, Samsung, Delphi, Henkel, Intel [51] a další).

#### TRIZ na univerzitách

TRIZ postupně nalezl uplatnění na univerzitách mnoha (34) zemí světa (abecedně: Argentina, Austrálie, Belgie, Brazílie, Čína, Česká republika, Egypt, Estonsko, Francie, Indie, Iran, Irsko, Israel, Itálie, Japonsko, JAR, Jižní Korea, Kanada, Maďarsko, Mexiko, Norsko, Německo, Polsko, Portugalsko, Rakousko, Rumunsko, Rusko, Singapur, Slovensko, Španělsko, Taiwan, Velká Británie, USA, Vietnam) [54]. V současné době se vedle Ruska stává velmocí v oblasti TRIZ také Jižní Korea.

V Německu, zemi s poměrně vysokým inovačním potenciálem a výsledky, se metodou TRIZ zabývají v rámci aplikací, či výzkumné činnosti na 13 univerzitách, na 8 z nich je pak TRIZ také vyučován v rámci samostatných předmětů.

V USA je metoda TRIZ na aplikační a výzkumné úrovni využívána na 16 univerzitách a vyučována na 7 univerzitách, včetně Massachusetts Institute of Technology (MIT), dle celosvětového žebříčku univerzit *QS Ranking* [55] dlouholetého leadera mezi univerzitami. V České a Slovenské republice je TRIZ celosemestrálně vyučován na FS VUT, FS TUL v NMSP, na VŠB-TUO v DSP a v aplikační rovině je TRIZ používán akademiky ČVUT, VŠB-TUO, ZČU-TU a TU Košice, viz tab. 2.3 [54].

**Tab. 2.3** Přehled aktivit v oblasti TRIZ na českých a slovenských VŠ

Univerzita/VŠ	Výzkumná činnost	Aplikace	Vzdělávání*
TUL	x	x	x
VUT	-	x	x
ČVUT	-	x	-
VŠB-TUO	-	x	x
ZČU	-	x	-
TU Košice	-	x	-

\* ... celosemestrální kurz zaměřený na TRIZ

### Kvalifikace v oblasti TRIZ

Asociace MA TRIZ poskytuje mezinárodně uznávanou certifikaci v oblasti TRIZ. V současné době je na světě certifikováno 15973 osob z toho 4 (včetně autora této práce) z ČR [53].

### Strategie rozvoje metody TRIZ

Metoda TRIZ je s rozvojem techniky stále rozvíjena a zdokonalována, trendy vývoje metody jsou popsány v zápise [56].

## 2.3.4 Počítačová podpora TRIZ

V současné době má metoda TRIZ podporu ve specializovaných SW nástrojích, které umožňují snazší a rychlejší formulování a řešení invenčních úloh pomocí metody TRIZ. Mezi nejrozšířenější software patří:

- Goldfire Innovator (GFI) (Invention Machine),
- Tech Optimizer (Invention Machine),
- Navigator (GEN3),
- I-TRIZ aplikace (SW balíček: Directed Evolution, Inventive Problem Solving, Scientific Problem Solving, Ideation Failure Prediction, Ideation Failure Analysis, Innovation WorkBench) (Ideation),
- TriSolver (TriSolver Consulting),
- Innovation Suite,
- TRIZ GB.

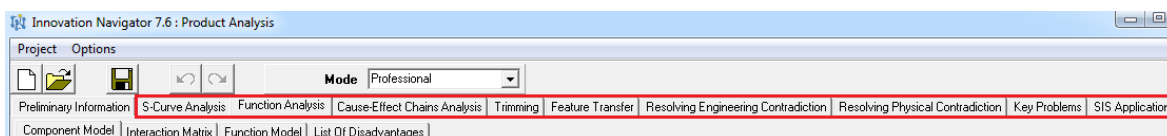
Tyto SW produkty zpravidla obsahují následující nástroje metody TRIZ:

- funkční analýza,
- analýza kořenových příčin,
- trimming,
- řešení technických rozporů pomocí invenčních principů,

- řešení fyzikálních rozporů pomocí separačních principů,
- databáze fyzikální efektů,
- trendy evoluce technických systémů, resp. paternity.

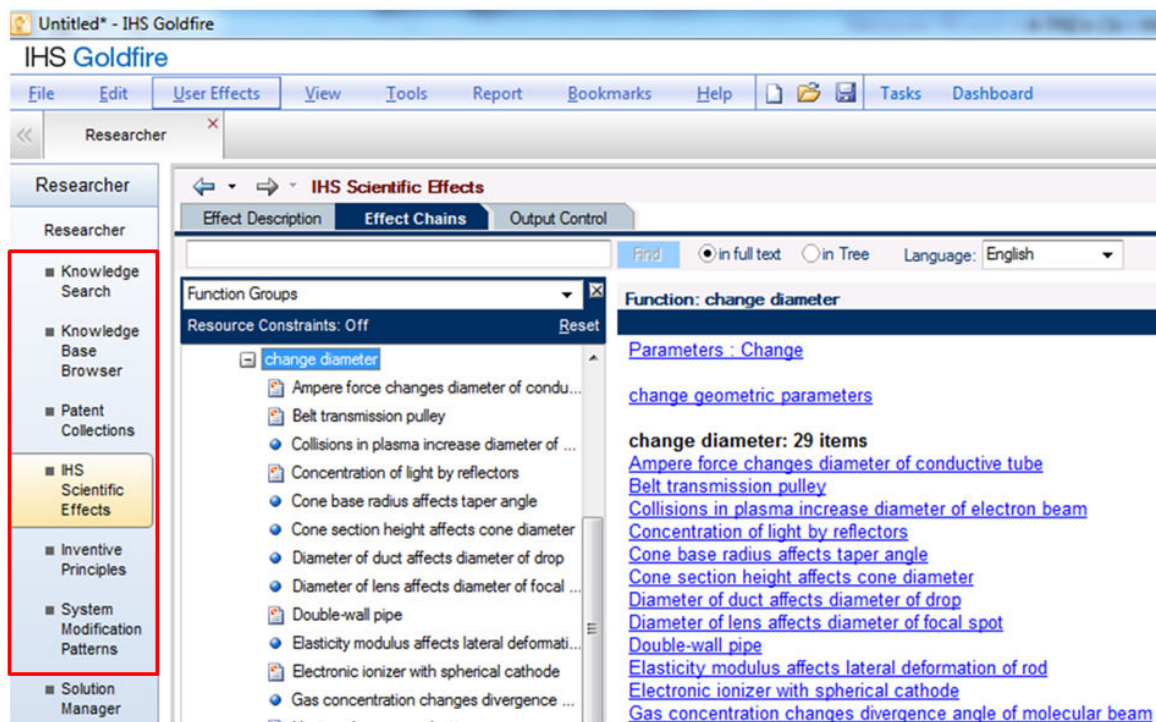
První z uvedených SW – Goldfire Innovator obsahuje také vyhledávač s možností semantického vyhledávání v patentech i vybraných databázích odborných periodik. SW nástroje podporující aplikaci metody TRIZ je vhodné doplnit o využití SW zaměřených na vyhledávání již známých řešení a provádění analýz těchto řešení. K takovýmto SW patří např. PatentInspiration (AULIVE) či Kompat (BiGFLO).

Na obr. 2.9 zachycena část uživatelského rozhraní SW Navigator se zvýrazněním nástrojů TRIZ obsažených v tomto SW.



**Obr. 2.9** TRIZ nástroje obsažené v SW Navigator

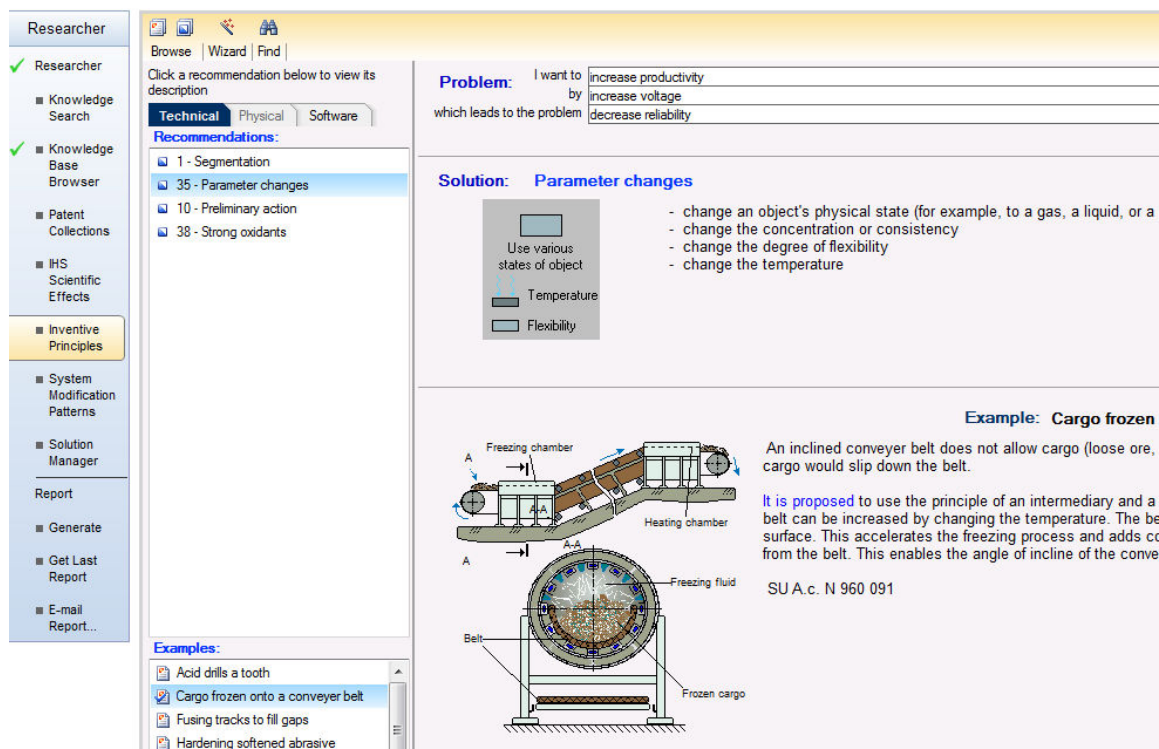
Obdobně je na obr. 2.10 zachycena část uživatelského rozhraní SW Goldfire Innovator, kde jsou v levé části zvýrazněny nástroje metody TRIZ obsažené v tomto SW. V pravé části je pak příklad – přehled 29 tzv. „vědeckých efektů“, které lze použít pro splnění funkce „změnit průměr“.



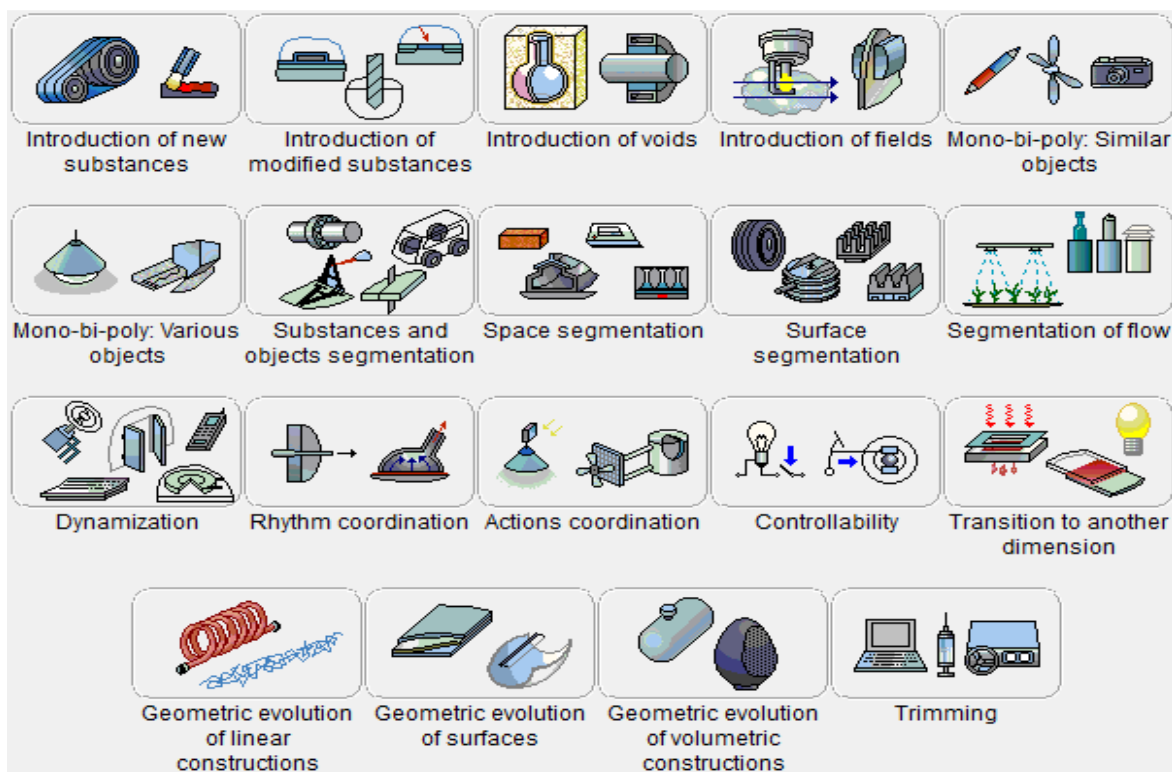
**Obr. 2.10** TRIZ nástroje obsažené v SW GoldfireInnovator

Na obr. 2.11 je zachyceno uživatelské rozhraní SW GFI pro řešení technických rozporů pomocí invenčních principů. Teoretická doporučení jsou podpořena realizovanými patentovanými aplikacemi daného invenčního principu. Na obr. 2.12 je zachycen přehled trendů rozvoje technických systémů.





Obr. 2.11 SW GFI - Invenční principy s příklady (patenty) aplikace principu



Obr. 2.12 SW GFI - Přehled trendů evoluce technických systému

Na FS TUL jsou SW Goldfire Innovator, Tech Optimizer, Navigator, I-TRIZ, PatentInspiration, Kompat využívány při výuce předmětů vyučovaných v NMSP oboru Inovační inženýrství a v rámci výzkumné činnosti.

## 2.4 Zhodnocení současného stavu řešení inovačních úloh

Hodnocení konvenčních metod řešení problémů uvedených v tab. 2.2 bylo provedeno již v podkapitole 2.2, kdy bylo poukázáno na nedostatky těchto konvenčních metod. Zde se zaměříme na zhodnocení metody TRIZ.

Metoda TRIZ byla hodnocena z pohledu:

- užitečnosti, resp. přínosnosti,
- aplikovatelnosti neboli snadného použití.

Za tímto účelem byly autorem zformulovány 2 nulové a k nim alternativní hypotézy:

- $H_{I0}$ : *Metoda TRIZ je přínosná*, ke které alternativní hypotéza zní:  $H_{II1}$ : *Metoda TRIZ není přínosná*.
- $H_{II0}$ : *Metoda TRIZ je obtížně aplikovatelná, resp. příliš složitá*, ke které alternativní hypotéza zní  $H_{III1}$ : *Metoda TRIZ je snadno aplikovatelná, resp. není složitá*.

Uvedená tvrzení byla dokázána, resp. vyvrácena provedením literární rešerše, posouzením experty z oboru TRIZ i vlastních zkušeností.

Hypotéza  $H_{I0}$ : ***Metoda TRIZ je přínosná*** byla potvrzena. Její potvrzení ve stručnosti dokládají následující body:

- stovky vyřešených inovačních úloh publikovaných v časopise TRIZ Journal [132]
- rozšířenost metody v předních světových podnicích [51, 52], výzkumných institucích a univerzitách 34 zemí světa [54]
- vynálezy vyšších řádů (3.-5.řádu) vyžadují překonání rozporu, nesystematický přístup by vyžadoval obrovské množství námětů ( $10^2$  až  $10^5$  dle úrovně vynálezu) [32, 33, 52]
- podstata metody TRIZ vychází z úspěšných patentovaných řešení [1-28]
- průzkumy ukazující kladné ohlasy a hodnocení této metody odbornou veřejností, např. Bušov v článku [130] shrnuje výsledky rozsáhlé studie provedené na vzorku 2260 inženýrů z různých podniků ČR a SR seznámených s metodou TRIZ v rámci odborných kurzů<sup>10</sup>. K obdobným závěrům došel v obdobně rozsáhlé studii provedené ve Velké Británii Mann [129].

Z druhé dvojice hypotéz byla potvrzena hypotéza  $H_{II0}$ : ***Metoda TRIZ je příliš složitá***. Její potvrzení opět ve stručnosti dokládají následující body:

- samotný autor metody G. S. Altshuller došel při snaze o rozšíření metody do každodenního užití inženýry ke zjištění, že pouze malé procento z účastníků jím vedených kurzů (rozsahu minimálně 50hodin<sup>11</sup>) dokázalo ve své praxi používat tuto metodu trvale [131]

<sup>10</sup> Míra kladného hodnocení rostla s mírou poznání metody, pro „přesvědčení“ o přínosu metody bylo zpravidla zapotřebí více než 2 denní kurz. Účastníci týdenního kurzu po bližším seznámení hodnotili metodu lépe než účastníci úvodního 1 denního kurzu.

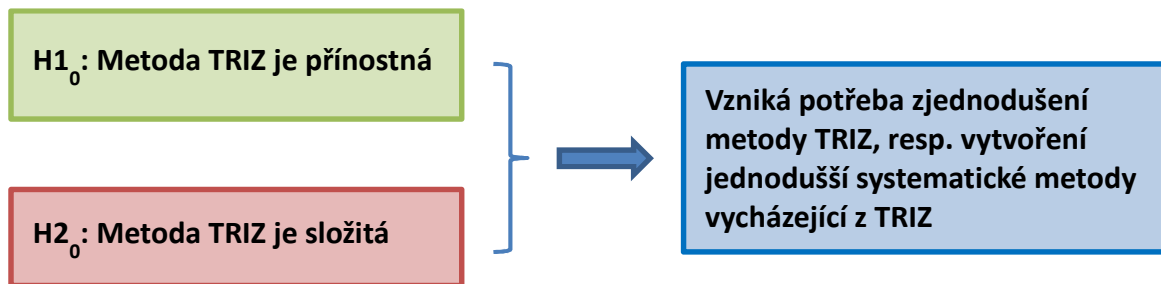
<sup>11</sup> Přibližně odpovídá rozsahu výuky předmětu v jednom semestru.

- Přední čeští, viz např. [127, 130, 131] i světoví, viz např. [128, 129] odborníci považují TRIZ za přínosnou, ale obtížně uchopitelnou metodu pro každodenní použití.
- Expertní závěry TRIZ komunity prezentované na světových konferencích (TRIZ Future Conference, TRIZ-Fest) věnovaných metodě TRIZ.
- Nízké skutečné využití na každodenní bázi – podniky, školy.

Za příčiny přílišné složitosti metody TRIZ a její nerozšířenosti do každodenního využití lze považovat následující faktory:

- rozsáhlá a nejednotná terminologie,
- funkční mluva,
- nutnost využití relativně vysoké míry abstrakce,
- metoda obsahuje mnoho nástrojů,
- absence algoritmizace,
- relativně vysoká časová náročnost formulace zadání,
- rezistence některých „tradičních“ řešitelů využívající výhradně intuitivní přístup [127, 33].

Ze zformulovaných a potvrzených hypotéz vzešla východiska této práce, poukazující na potřebu zjednodušení metody TRIZ, resp. vytvoření jednodušší systematické metody vycházející z TRIZ (obr. 2.13).



**Obr. 2.13** Závěry hodnocení metody TRIZ – východiska práce



# KAPITOLA 3

## NÁVRH METODY ŘEŠENÍ INOVAČNÍCH ÚLOH VYUŽÍVAJÍCÍ NÁSTROJE SYSTEMATICKÉ KREATIVITY

V této kapitole bude představena vlastní metoda pojmenovaná „*TRIZ for Efficiency*“ (**TfE**), jež je určena pro formulování a řešení **inovačních úloh** za účelem zvyšování efektivity strojů a zařízení i zlepšování výrobků a technických systémů obecně.

### 3.1 Sestavení vlastního algoritmu TfE

Na základě studia metody TRIZ, provedené literární rešerše a vlastních zkušeností byla navržena metoda TfE, jež je popsána pomocí algoritmu zachyceného na obr. 3.1. Algoritmus obsahuje dvě fáze:

- 1) identifikaci problému (definování inovačního zadání),
- 2) řešení problému (řešení inovační úlohy).

Fáze identifikace problému zahrnuje nástroje pro:

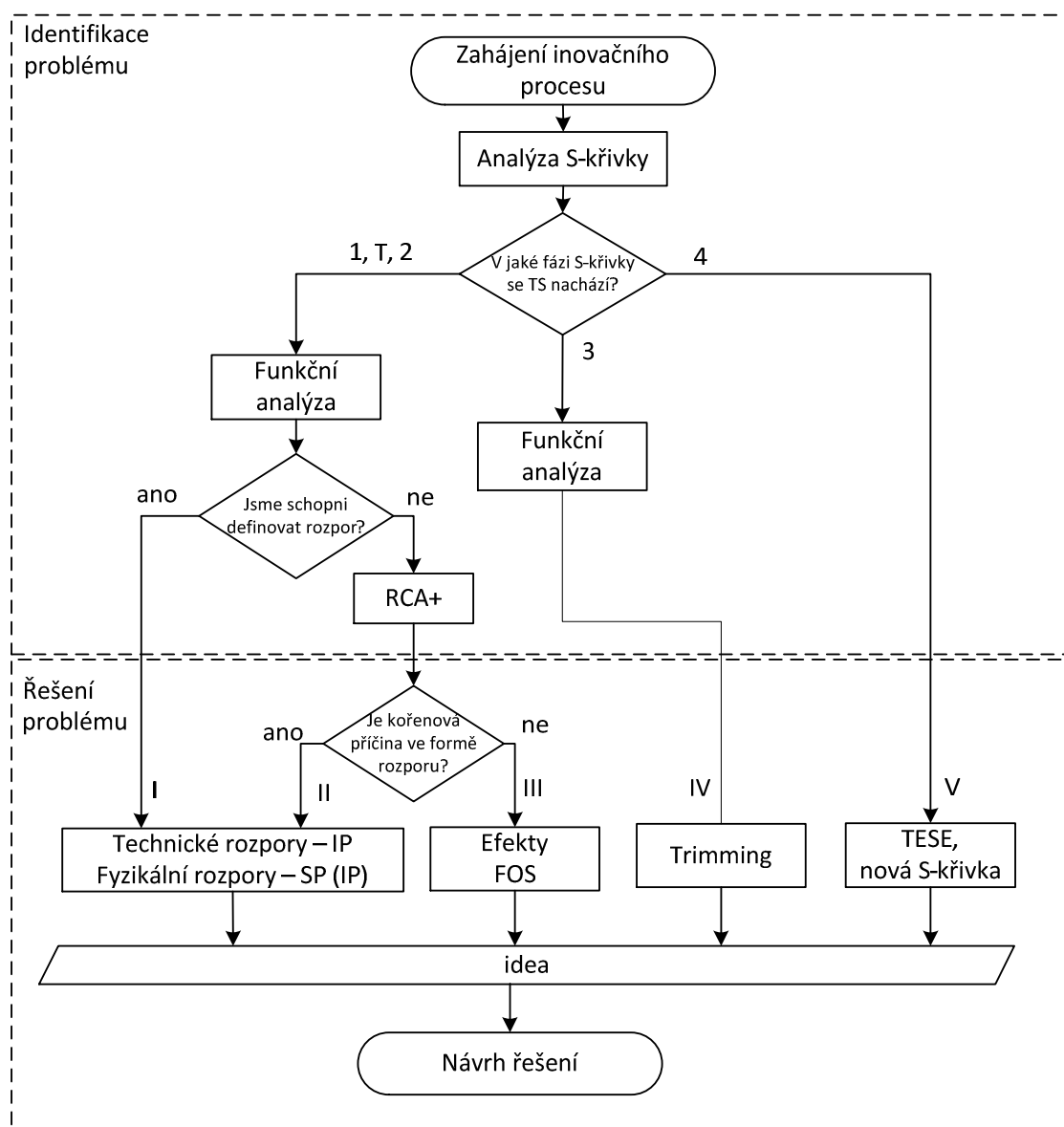
- stanovení strategie inovace technického systému (analýza S-křivky),
- nalezení nežádoucích funkcí komponent technického systému (funkční analýza),
- nalezení kořenových příčin výskytu nežádoucích jevů v technickém systému (RCA+).

Výstupem fáze identifikace problému je definovaný problém technického systému v podobě kořenové příčiny, či kořenového rozporu.

Fáze řešení problému zahrnuje celkem 6 nástrojů pro řešení definovaného problému:

- invenční principy (IP) pro řešení technických rozporů (TR),
- separační principy (SP) pro řešení fyzikálních rozporů (FR),
- efekty (fyzikální, chemické, geometrické) pro zajištění požadované funkce,
- funkčně orientované vyhledávání (*Function Oriented Search* – FOS) pro zajištění požadované funkce,
- trimming pro zjednodušení technického systému,
- trendy evoluce technických systémů (*Trends of Engineering Systems Evolution* – TESE) pro stanovení dalšího kroku vývoje technického systému.

Vhodný řešitelský nástroj je doporučen na základě sestaveného algoritmu TfE. V závislosti na úrovni vývoje technického systému a způsobu řešení je možno pomocí algoritmu dospět k řešení některou ze 5 větví algoritmu, které jsou na obr. 3.1 označeny I až V.



**Obr. 3.1** Algoritmus „TRIZ for Efficiency“ (TfE)

Níže budou nejprve stručně představeny jednotlivé nástroje algoritmu TfE, následně bude proveden popis algoritmu TfE po jednotlivých větvích I až V, poté budou detailně popsány všechny nástroje TfE.

### 3.1.1 Stručný popis nástrojů obsažených v metodě TfE

#### Analýza S-křivky

Každý technický systém, tedy i stroj či zařízení se vyvíjí podle tzv. S-křivky, která je dělena na celkem pět fází (1. fáze, přechodová fáze (T – *transition stage*), 2., 3., 4. fáze). Podle toho v jaké fázi S-křivky se vývoj technického systému nachází je volena s ohledem na trend zvyšování ideálnosti technického systému **strategie inovace** technického systému. Ve fázích 1, T, 2 jsou zvyšovány hlavní funkce technického systému, ve 3. fázi jsou funkce zachovány a jsou snižovány náklady (např. zjednodušením zařízení pomocí trimmingu), ve 4. fázi je hledán nový princip plnění hlavní funkce technického systému.

#### Funkční analýza (FA)

Funkční analýza je analytický nástroj pro analýzu funkcí komponent technického systému a komponent nadsystému. Výstupem funkční analýzy je model funkcí, který poskytuje informace o výskytu nežádoucích<sup>12</sup> a žádoucích<sup>13</sup> funkcí komponent technického systému. Funkční analýza tedy odhalí, **kde** se v technickém systému nachází problém. Další snahou je škodlivé funkce odstranit a funkce užitečné s nedostatečným či nadbytečným plněním změnit na funkce užitečné s normální intenzitou plnění.

#### Analýza kořenových příčin a rozporů (*Root Conflict Analysis – RCA+*)

Příčinně-následkový řetězec RCA+ je analytický nástroj pro zjištění kořenových příčin zřejmého nežádoucího jevu (klíčové nevýhody) technického systému. Klíčové nevýhody jsou zpravidla identifikovány z výstupu funkční analýzy. V oblasti zvyšování efektivity strojů a zařízení je možno vyjít také ze ztrát zohledněných v ukazateli OEE, těmi jsou časové ztráty, ztráty rychlosti, ztráty v kvalitě. Kořenové příčiny jsou definovány v podobě prostých kořenových příčin, či v podobě kořenových rozporů (ty lze následně řešit pomocí separačních či invenčních principů). Nástroj RCA+ tedy poskytuje informaci o tom **co** (jaký kořenový problém) máme řešit.

#### Technický rozpor a invenční principy (TR/IP)

Technický rozpor je určitá forma definování problému ve formě rozporu. Rozpor nastává, pokud při zlepšování jednoho parametru technického systému obecně známým způsobem zároveň dochází k nepřijatelnému zhoršení jiného parametru. Konvenčním (intuitivním) přístupem by bylo zvolení kompromisu mezi zlepšením jednoho a zhoršením druhého parametru. Ke kompromisu nemusí být přistoupeno, pokud je pro řešení zvolena Altshullerova tabulka technických rozporů a invenčních principy překonávání technických rozporů. Výstupem tohoto řešitelského nástroje je idea řešení.

#### Fyzikální rozpor, separační a invenční principy (FR/SP-IP)

Fyzikální rozpor je určitá forma definování problému ve formě rozporu. Rozpor je zde dán protichůdnými požadavky na část technického systému, kdy má zpravidla jedna fyzikální veličina nabývat různých hodnot. Řešení fyzikálních rozporů je možno provést využitím tzv. separačních principů (separace v čase, prostoru, fázi, systémové úrovni), které mohou být realizovány prostřednictvím invenčních principů. Výstupem tohoto řešitelského nástroje je idea řešení.

<sup>12</sup> Za nežádoucí funkce budou označovány funkce škodlivé i funkce užitečné, které mají nedostatečné, nebo nadbytečné plnění.

<sup>13</sup> Užitečná funkce s normální intenzitou plnění funkce.

**Efekty**

Databáze (tzv. *vědeckých*) efektů je řešitelský nástroj, který poskytuje rozsáhlou databázi fyzikálních, chemických a geometrických efektů a jevů, pomocí kterých lze zajišťovat požadované funkce. V současné době jsou databáze efektů součástí některých softwarových nástrojů pro řešení invenčních úloh pomocí metody TRIZ. Pomocí efektů lze např. odstraňovat kořenové příčiny zjištěné příčinně-následkovým řetězcem.

**Funkčně orientované vyhledávání (FOS)**

Funkčně orientované vyhledávání (*Function Oriented Search – FOS*) je nástroj pro řešení inovačních zadání prostřednictvím vyhledávání již existujících technických řešení, které plní požadovanou (hledanou) funkci. Po nalezení odpovídajícího technického řešení je již řešení „pouze“ tzv. adaptační problém, namísto řešení inovačního problému a hledání zcela nového řešení. Pomocí funkčně orientovaného vyhledávání (FOS) lze např. odstraňovat kořenové příčiny zjištěné příčinně-následkovým řetězcem.

**Trimming**

Nástroj sloužící k zjednodušení technického systému odstraněním některých jeho komponent, jejichž užitečné funkce jsou delegovány jiným komponentám, nebo již nejsou vyžadovány.

**Trendy evoluce technických systémů (TESE)**

Trendy evoluce technických systémů (*Trends of Engineering Systems Evolution – TESE*) byly odvozeny G. S. Altshullerem a jeho následníky studiem mnoha set tisíců patentů vyšší úrovně. Trendy poskytují informaci o objektivních směrech vývoje technických systémů. Znalost těchto trendů napomáhá určit směr dalšího vývoje studovaného technického systému. Vhodné využití naleznou trendy evoluce technických systémů v případě, že je technický systém již ve 4. fázi S-křivky a je nutno stanovit princip plnění funkce inovovaného technického systému v nové S-křivce.

**3.1.2 Popis algoritmu po jednotlivých větvích****Větev I**

Analýza S-křivky ukázala na vhodnost zvyšování posilování hlavní funkce technického systému. Funkční analýza odhalila komponenty, jež jsou nositelkami nežádoucích funkcí. Bylo možno definovat technický či fyzikální rozpor a řešit ho pomocí invenčních, resp. separačních a invenčních principů. Použití sekvence nástrojů na větvi I je představeno v úloze – *Inovace zásobníku polymeru*, představené v **podkapitole 4.3**.

**Větev II**

Analýza S-křivky ukázala na vhodnost zvyšování posilování hlavní funkce technického systému. Funkční analýza (FA) odhalila komponenty, jež jsou nositelkami nežádoucích funkcí. Příčinně-následkový řetězec (RCA+) odhalil kořenové rozpory, které byly následně řešeny pomocí separačních, resp. invenčních principů. Použití sekvence nástrojů na větvi II je představeno v úlohách – *Inovace přívodem plynného média*, představené v **podkapitole 4.5** a *Inovace kolektoru typu kartáč* představené v **podkapitole 4.6**.

**Větev III**

Analýza S-křivky ukázala na vhodnost zvyšování posilování hlavní funkce technického systému. Funkční analýza (FA) odhalila komponenty, jež jsou nositelkami nežádoucích funkcí. Příčinně-následkový řetězec (RCA+) odhalil kořenové příčiny, jež nejsou ve formě rozporů. Jejich odstranění je možno řešit přímou eliminací kořenových příčin, využitím tzv. fyzikálních (příp. vědeckých) efektů, nebo nástroje funkčně orientovaného vyhledávání (FOS). Použití sekvence nástrojů na větvi III je představeno v úloze – *Studie vlivu velikosti elektrod na proces zvlákňování*, představené v **podkapitole 4.4**.

**Větev IV**

Analýza S-křivky ukázala na vhodnost zachování stávajících funkcí technického systému a na vhodnost snižování nákladů. To je možno provést odstraněním některých komponent technického systému a delegováním užitečných funkcí odstraněných komponent ostatním komponentám. Funkční analýza (FA) nám poskytne informaci o komponentách, které by bylo vhodné odstranit. Samotné odstranění je provedeno pomocí nástroje trimming. Použití sekvence nástrojů na větvi IV je představeno v **podkapitole 4.7** – *Studie možnosti zjednodušení technického systému*.

**Větev V**

Analýza S-křivky ukázala, že technický systém již nepřináší efektivní využití způsobem jakým plní funkce, proto je potřeba pomocí trendů evoluce technických systémů (TESE) hledat nové principy plnění hlavní funkce technického systému, či další inovace dle trendů evoluce technických systémů. Nástin dalšího možného vývoje v oblasti zvyšování efektivity zařízení na výrobu nanovláken je uveden v **podkapitole 4.8**.

Po tomto stručném představení algoritmu TfE, jeho nástrojů a větví budou blíže představeny jednotlivé nástroje tak, aby poskytli čtenáři úplný návod k jejich používání.

### **3.2 Analýza S-křivky a trend zvyšování stupně ideálnosti technického systému**

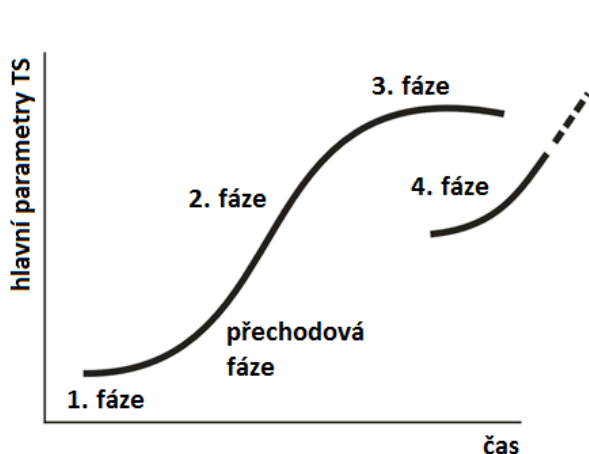
**Analýza S-křivky** je jedním z trendů rozvoje technických systémů<sup>14</sup>. Trend S-křivky znázorňuje, že rozvoj hlavního parametru technického systému v čase probíhá podle tvaru S-křivky, viz obr. 3.2.

**V průběhu „svého života“ prochází technický systém těmito fázemi:**

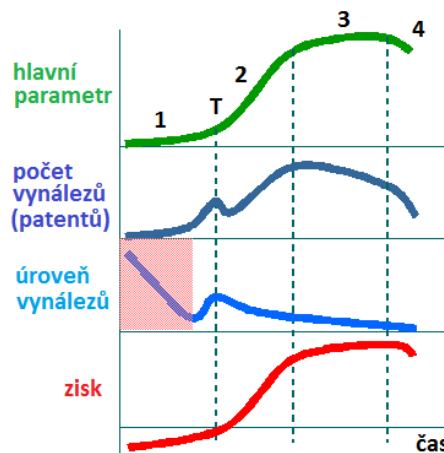
- **1. fáze – zrození:** v této etapě se jen formuje „pracovní nástroj“, objevují se vynálezy v malých množstvích, ale vysoké úrovně. Do systému se vkládají velké finanční prostředky, ale systém nepřináší zisk.
- **Přechodová (tranzitní - T) fáze – rozvoj:** hlavní parametry rostou rychle, technický systém je téměř připraven k uvedení na trh, ale je citlivý na vnější faktory, pokusy o zavedení TS v různých oblastech mají omezený úspěch.
- **2. fáze – rozvoj:** podle míry formování ostatních částí systému nastupuje období jeho rozvoje a systém se stává ekonomicky výhodný, rozvíjí se, zavádí se vynálezy středních úrovní.

<sup>14</sup> Ikovenko a GEN3 řadí trend rozvoje TS podle S-křivky nad ostatní trendy evoluce technických systémů (TESE).

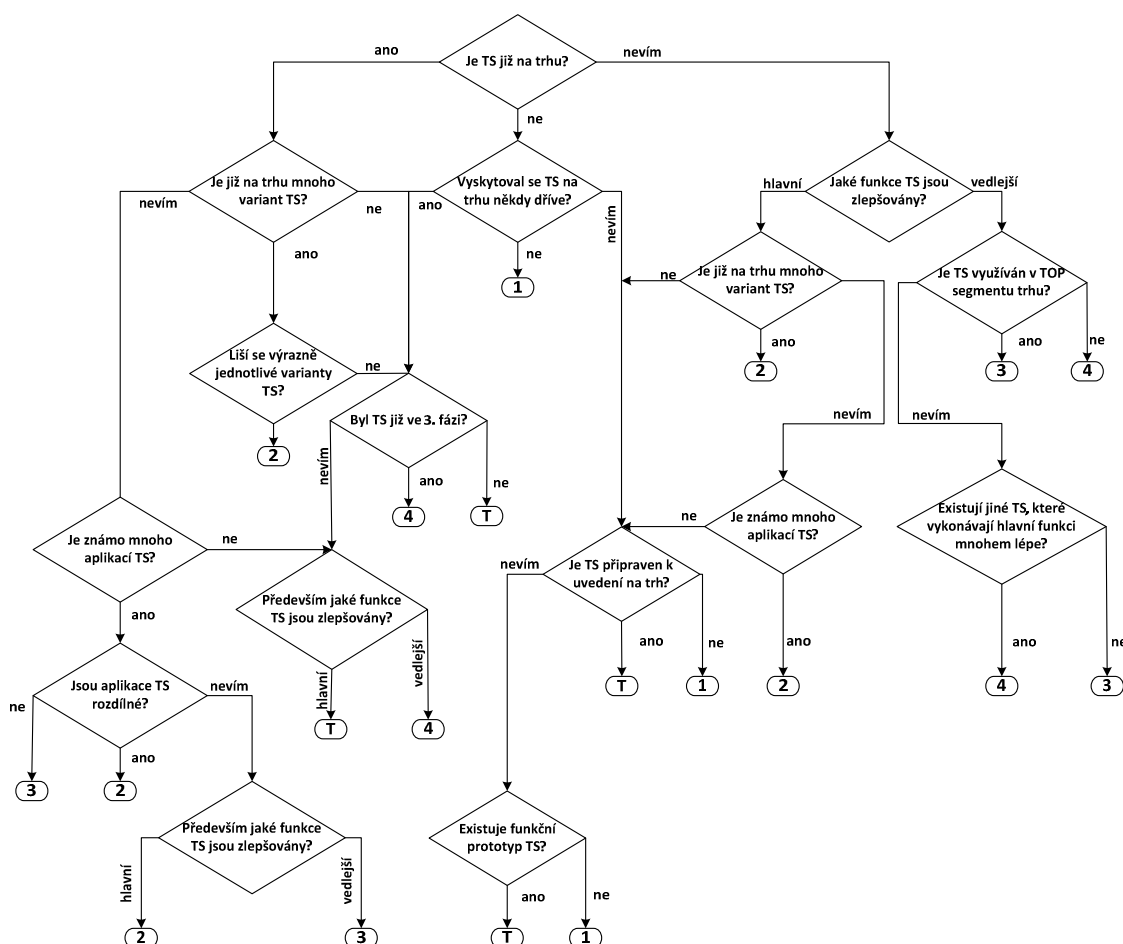
- **3. fáze – zralost:** objevuje se milník, při kterém se systém zastavuje ve svém rozvoji, protože jsou vyčerpány jeho rezervy – je dosažena tzv. fyzikální mez. Objevuje se velké množství vynálezů, ale na nízké úrovni.
- **4. fáze – zanikání:** prodlužováním rozvoje vnika konflikt systému s okolím a samotným člověkem. Následně je starý systém nahrazen systémem novým s principiálně novým „pracovním nástrojem“ a vše se opakuje od začátku.



### Obr. 3.2 S-křivka



**Obr. 3.3** Související křivky [57]



**Obr. 3.4** Algoritmus „TESE – S-křivka“ pro stanovení fáze vývoje technického systému

Stanovení fáze vývoje technického systému lze provést pomocí metodiky společnosti GEN3 Partners, Inc., USA, viz algoritmus<sup>15</sup> na obr. 3.4, nebo pomocí analýzy souvisejících křivek (viz obr. 3.3), jakými jsou počet patentů<sup>16</sup> či zisk.

Znalost v jaké fázi vývoje se technický systém nachází je klíčová pro stanovení strategie inovace technického systému. Tato strategie je stanovována využitím *trendu zvyšování stupně ideálnosti*. Ten platí především u sériově vyráběných technických systémů. V případě kusově vyráběných technických systémů, jež doposud neprošly delším vývojovým procesem, je zpravidla strategií zlepšovat hlavní funkce technického systému.

### Trend zvyšování stupně ideálnosti

Podle G. S. Altshullera postupuje rozvoj všech technických systémů ve směru zvyšování stupně ideálnosti. Ideální technický systém je systém, jehož hmotnost, rozměry a energetická spotřeba se blíží k nule, ale jeho způsobilost plnit funkce se nezmenšuje. V krajním případě je ideální systém ten, který neexistuje, ale jeho funkce se uskutečňuje. Protože funkci může vykonávat jen materiálový objekt, znamená to, že za zmizelý systém musejí vykonávat funkci jiné technické systémy, látky a pole nacházející se v okolí. Při formulaci tzv. *ideálního konečného řešení* (IKR) je vhodné a žádoucí použít slovo „sám“ (sama, samo, sami). Obvykle se používají tři základní formulace IKR: [52]

- systém sám plní danou funkci,
- systém není a funkce je vykonávána či zajištěna (s pomocí zdrojů),
- funkce není potřeba.

Po dosažení ideálního konečného řešení technický systém mizí, ale jeho funkce je dále plněna (zajištěna). Definováním ideálního řešení (ideálního stroje) lze pak od základu změnit práci vynálezce tj. nezačínat od začátku výchozí úlohy, ale od jejího ideálního konce. Při moderním a pokročilem způsobu kreativního řešení problémů musíme tedy velmi často nejprve určit ideál vlastního technického systému a teprve potom se zajímat o jeho změnu. Přitom dovolíme jen ty změny, které přibližují technický systém zvolenému ideálnímu řešení. Tím výrazně snižujeme počty námětů (nápadů, idejí), které při použití konvenčních metod vedou ke ztrátě času i efektivnosti řešení. Navíc v tomto případě vzniká i hodnotící kritérium úspěšnosti řešení. Čím více se přiblížíme ideálu (systém se stává lehčí, jednodušší a spolehlivější), tím kvalitnější řešení je dosaženo. [32]

Ideálnost je možno poměřovat i hodnotou technického systému, tu lze principiálně vyjádřit vztahem (3.1), kde  $F_i$  jsou užitečné funkce,  $C_i$  náklady na realizaci užitečných funkcí a  $FH_j$  jsou funkce škodlivé. Vztahu je možno, mimo ilustrace principu chápání hodnoty technického systému, použít pro porovnání více návrhů řešení při využití bezrozměrných jednotek (přiřazeného ranku na zvolené škále) plnění funkcí i velikosti nákladů.

$$H = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{\sum_{i=1}^n C_i + \sum_{j=1}^m FH_j} \quad (3.1)$$

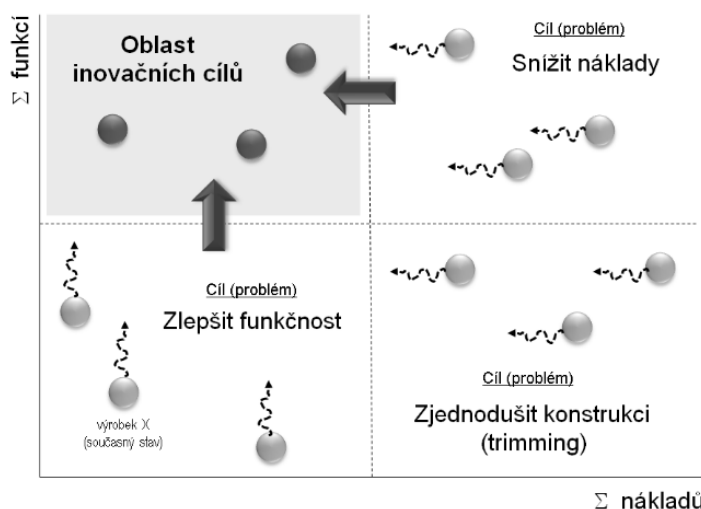
<sup>15</sup> Algoritmus je implicitně obsažen v SW Navigator. Explicitní popis algoritmu v prostudované literatuře nalezen nebyl.

<sup>16</sup> Patentovou aktivitu lze analyzovat např. pomocí pokročilých analýz SW Patent Inspiration.

Čím více užitečných funkcí systém plní za nižší náklady a čím méně je přítomno škodlivých funkcí generujících náklady, tím více se technický systém blíží k ideálnímu systému (ideálnosti  $I$ ), viz vztah (3.2).

$$I = H_{\max} = \frac{\left( \sum_{i=1}^n F_i \right)_{\max}}{\left( \sum_{i=1}^n C_i \right)_{\min} + \left( \sum_{j=1}^m FH_j \right)_{\min}} \quad (3.2)$$

Zvýšit hodnotu systému lze: zvyšováním funkčnosti, snižováním nákladovosti, odstraňováním problémovosti. Tyto strategie inovace jsou vyjádřeny graficky na obr. 3.5.



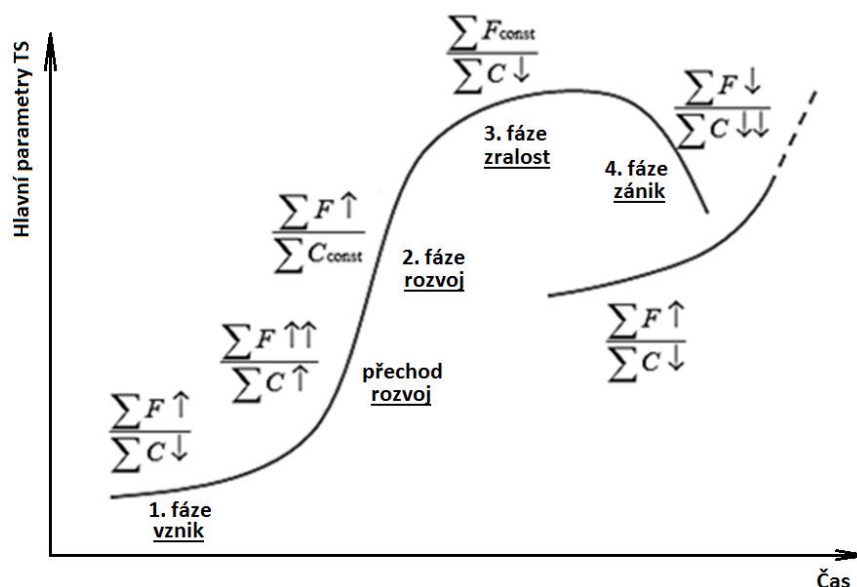
**Obr. 3.5** Zvyšování hodnoty systému ve smyslu ideálnosti [35]

Zvyšování ideálnosti technického systému můžeme rozdělit podle metodologie TRIZ na několik vývojových stupňů [52]:

1. stupeň – technický systém zvyšuje množství svých realizovaných funkcí,
2. stupeň – části technického systému se postupně redukuje do pracovního nástroje,
3. stupeň – technický systém postupně předává svoji funkci prvkům nadsystému a mizí.

Vztah (3.1) lze převést i na etapy S-křivky, viz **obr. 3.6**. Z pohledu zvyšování efekty strojů a zařízení je doporučováno ve fázích 1 až 2 posilovat funkce technického systému, ve 3. fázi redukovat náklady na technický systém a ve 4. fázi hledat nový princip plnění hlavní funkce.

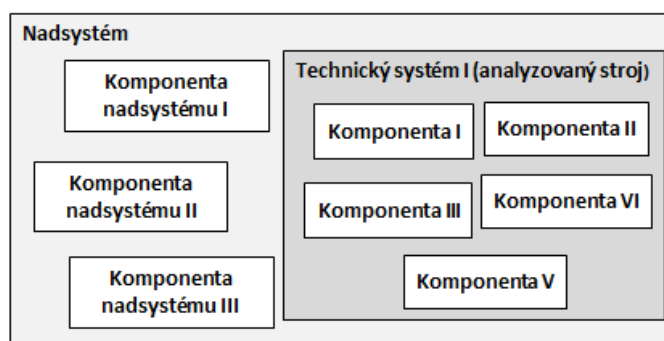




Obr. 3.6 Zvyšování hodnoty (ideálnosti) TS v etapách S-křivky

### 3.3 Funkční analýza (FA)

Každý stroj či zařízení (obecně technický systém) je určen k plnění určitých funkcí. Stejně tak každý díl stroje (komponenta, příp. prvek technického systému) je určen k plnění určitých funkcí. Funkční analýza je analytický nástroj, určený ke zmapování a popisu funkcí komponent technického systému a komponent nadsystému. Nadsystémem rozumíme prostor, ve kterém se technický systém nachází. Komponentami nadsystému jsou potom jiné technické systémy, viz obr. 3.7.



Obr. 3.7 Znázornění základních pojmů nadsystém, systém, komponenta

Hlavním cílem funkční analýzy je odhalení slabých stránek technického systému. Tyto slabé stránky se mohou vyskytovat v podobě:

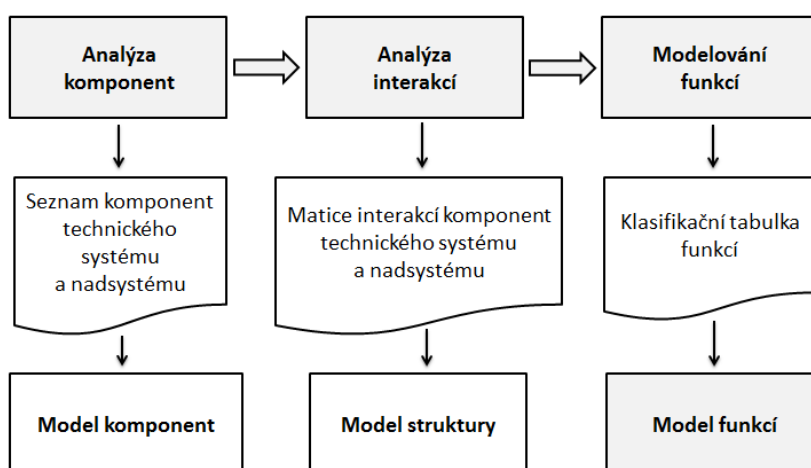
- existence relativně nepotřebných komponent, které zajišťují minimum užitečných funkcí v porovnání s náklady, které generují,
- vyskytující se škodlivé interakce mezi komponentami,
- nedostatečné, nebo nadbytečné plnění funkcí komponent technického systému.

Funkční analýzu lze považovat za primární nástroj analýzy technického systému a indikace problému v technickém systému. Výstup z funkční analýzy slouží jako podklad pro metody určené k odhalení kořenové příčiny problému (např. RCA+) a pro nástroje k následnému řešení problému (např.: trimming, invenční či separační principy, FOS).

Funkční analýza je tvořena třemi na sebe navazujícími dílčími analýzami:

- **analýza komponent** – slouží k určení komponent technického systému a nadsystému, výstupem této analýzy je model komponent,
- **analýza interakcí** – slouží k určení interakcí mezi komponentami technického systému a nadsystému, výstupem této analýzy je model struktury,
- **modelování funkcí** – slouží k určení a klasifikaci funkcí komponent technického systému a nadsystému, výstupem této poslední fáze funkční analýzy i celé funkční analýzy je model funkcí.

Uvedené fáze funkční analýzy a jejich výstupy jsou znázorněny na obr. 3.8.



Obr. 3.8 Fáze funkční analýzy a její výstupy

### 3.3.1 Analýza komponent

Analýza komponent je první fází funkční analýzy. Cílem analýzy komponent je vytvoření seznamu komponent technického systému a nadsystému ve vhodně zvolené úrovni hierarchie komponent a následného vytvoření modelu komponent.

Úroveň hierarchie komponent je volena s ohledem na cíle projektu tak, aby nám jednak umožnila dostatečně analyzovat technický systém a zároveň aby provedení analýzy nebylo příliš složité a nevhodné.

Volba vyšší, než optimální úrovně vede ke ztrátě informace a snížení kvality výstupu funkční analýzy, volba nižší úrovně s sebou přináší vyšší náročnost provedení funkční analýzy. Po výběru vhodné úrovně následuje sestavení seznamu komponent, přičemž platí:

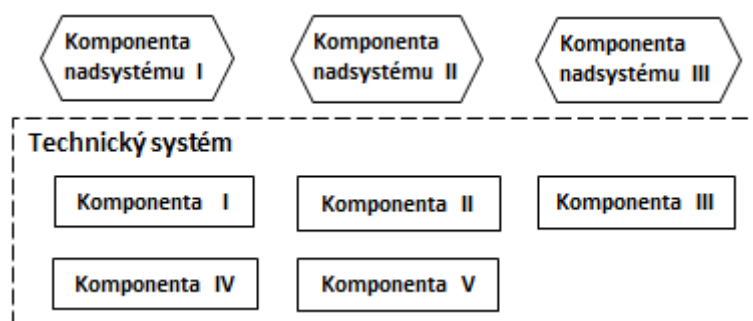
- všechny komponenty musí pocházet ze stejné hierarchické úrovně,
- pokud se v technickém systému vyskytuje více totožných komponent, jsou tyto komponenty zahrnuty do komponenty jedné (např. valivá tělíska ložiska).

Pro vytvoření seznamu komponent je vhodné využít tabulku, ve které budou rozlišeny komponenty technického systému a komponenty nadsystému, viz příklad – tab. 3.1.

**Tab. 3.1** Seznam komponent technického systému a nadsystému

Technický systém	Nadsystém
Komponenta 1	Komponenta nadsystému 1
Komponenta 2	Komponenta nadsystému 2
Komponenta 3	Komponenta nadsystému 3
Komponenta 4	
Komponenta 5	

Na základě takto vytvořené tabulky (seznamu komponent) je možno přistoupit k vytvoření modelu komponent, viz obr. 3.9. Konvence označování komponent systému a komponent nadsystému je taktéž patrná z obr. 3.9. Takto vytvořený seznam a model komponent bude dále využit v analýze interakcí.



**Obr. 3.9** Model komponent

### 3.3.2 Analýza interakcí

Analýza interakcí, je v řadě druhou z analýz funkční analýzy. Cílem této analýzy je sestavení matice interakcí komponent technického systému a komponent nadsystému a následném vytvoření modelu struktury. Sestavování matice interakcí je prováděno ve čtyřech krocích:

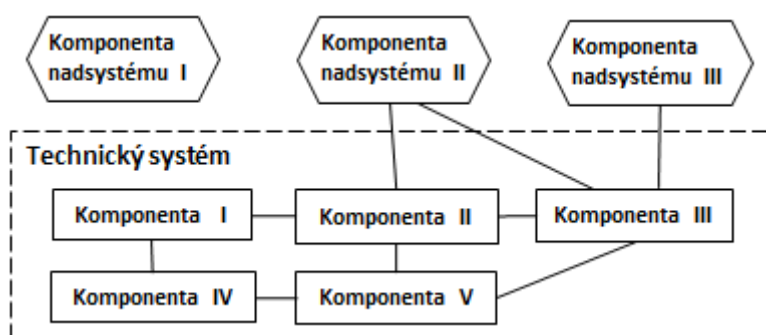
- na základě výstupu analýzy komponent (tab. 3.1) vypište všechny komponenty technického systému a všechny komponenty nadsystému do prvního řádku i sloupce tabulky,
- do pole, kde se řádek a sloupec dvojice komponent vepište znaménko „+“ v případě, že je dvojice komponent v interakci, opačném případě vepište znaménko „-“,
- zkontrolujte, zda je matice diagonálně symetrická,
- zkontrolujte matici interakcí a odstraňte z ní komponenty, které nejsou s žádnou jinou komponentou v interakci, tj. komponentu, u které jsou všechna znaménka záporná.

Příklad matice interakcí je uveden v tab. 3.2, kde K1 až K5 značí komponenty technického systému 1 až 5 a KN1 až KN3 značí komponenty nadsystému 1 až 3.

**Tab. 3.2** Matice interakcí

	K1	K2	K3	K4	K5	KN1	KN2	KN3
K1		+	+	+	-	-	-	-
K2	+		+	-	+	-	+	-
K3	-	+		-	+	-	+	+
K4	+	-	-		+	-	-	-
K5	-	+	+	+		-	-	-
KN1	-	-	-	-	-		-	-
KN2	-	+	+	-	-	-		-
KN3	-	-	+	-	-	-	-	

Na základě matice interakcí a modelu komponent (viz obr. 3.9) je možno přistoupit k vytvoření modelu struktury (viz obr. 3.10), v kterém budou znázorněny interakce mezi komponentami technického systému a interakce mezi komponentami technického systému a nadsystému.

**Obr. 3.10** Model struktury

Lze si povšimnout, že v modelu struktury již není uvedena komponenta nadsystému I. To je dáno tím, že tato komponenta není v interakci s žádnou jinou komponentou, jak je patrné z matice interakcí. Takto vytvořený model komponent bude dále využit v modelování funkcí.

### 3.3.3 Modelování funkcí

Poslední etapou funkční analýzy je modelování funkcí. Výstupem této etapy je funkční model, který popisuje jaké funkce jsou vykonávány jednotlivými komponentami technického systému a nadsystému.

**Pojem funkce** má svá specifika, která je pro vytváření modelu funkcí nezbytné znát. Funkcí je chápáno působení jednoho materiálového objektu na druhý tak, že mění nějaký jeho parametr. Působící objekt je nazýván nositelem funkce. Objekt, na který je působeno, je nazýván objektem funkce. Funkce může mezi dvěma objekty existovat, pokud jsou splněny následující podmínky:

- oba objekty (nositel funkce i objekt funkce) jsou materiálové objekty,
- oba objekty jsou v interakci,
- výsledkem interakce je změna parametrů objektu funkce.

**Materiálovým objektem** rozumíme látku (skupenství pevného, kapalného i plynného), nebo pole (mechanické, akustické, tepelné, chemické, elektrické, magnetické, či kombinovaná pole těchto polí, např. elektromagnetické pole).

Dílčími objekty funkce jsou komponenty technického systému, cílovým objektem funkce je komponenta nadsystému, jejíž parametry jsou měněny hlavní funkcí technického systému. Např. v případě soustruhu jsou nositeli a zároveň objekty dílčích funkcí komponenty stroje, hlavní funkcí technického systému je obrábět, cílovým objektem je obrobek. Cílový objekt je ve funkčním modelu znázorněn oblým obrazcem (viz obr. 3.11). Funkce, působící mezi objekty, jsou při tvorbě modelu funkcí děleny podle následujících kritérií:

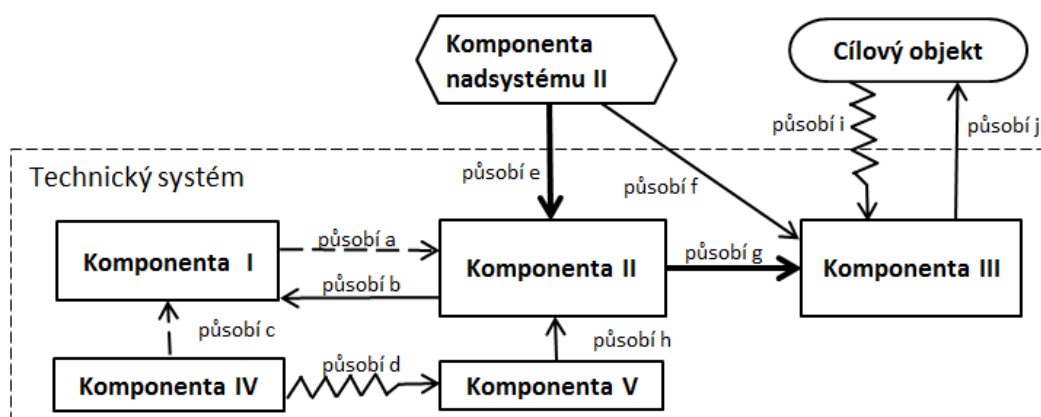
- charakter (užitečné, škodlivé funkce),
- intenzita užitečné funkce (nedostatečná, normální, nadbytečná intenzita),
- významnost (hlavní, základní, pomocné funkce).

V modelu funkcí je charakter a intenzita funkce graficky rozlišena dle legendy, viz tab. 3.3.

**Tab. 3.3** Grafická interpretace funkcí dle charakteru a intenzity

Charakter funkce	Intenzita užitečné funkce	Grafická interpretace funkce
užitečná	nedostatečná	----->
	normální	—————>
	nadbytečná	—————>
škodlivá	-	~~~~~>

Vedle výše uvedených parametrů je do modelu funkcí explicitně uváděna také věcná interpretace funkce, popisující jakým způsobem nositel funkce působí na objekt funkce. Tato interpretace je uváděna slovesem ve 3. osobě (např.: drží, nese, vede, směřuje, otláčuje, předepíná, rozpouští atd.). Obecný příklad modelu funkcí je zachycen na obr. 3.11.



**Obr. 3.11** Model funkcí

Z výše uvedeného modelu funkcí lze vyčíst např. následující:

- komponenta I a IV nedostatečně plní svou funkci,
- komponenta nadsystému II a komponenta II působí na svůj objekt funkce funkcí nadbytečné intenzity,
- komponenta IV nežádoucím způsobem mění parametry komponenty V,

- cílový objekt nežádoucím způsobem mění parametry komponenty III, atd.

Identifikace výše uvedených nedostatků je prvním předpokladem k zahájení řešení těchto nedostatků např. pomocí metod trimming, FOS a dalších.

Představená funkční analýza poskytuje funkčně orientovaný pohled na technický systém (stroj, zařízení) na zvolené úrovni komponent technického systému. Výstupem funkční analýzy je funkční model, z kterého jsou patrné škodlivé, nedostatečné či nadbytečné funkce komponent technického systému.

### 3.4 Analýza kořenových rozporů RCA+

Analýza kořenových rozporů (*Root Conflict Analysis* – RCA+)<sup>17</sup> je analytický nástroj, sloužící k odhalování kořenových příčin nežádoucích vlastností technických systémů a kořenových rozporů vyskytujících se v technických systémech.

Modelování pomocí analýzy kořenových rozporů RCA+ bylo vyvinuto na základě využití následujících tří metod, či jejich částí:

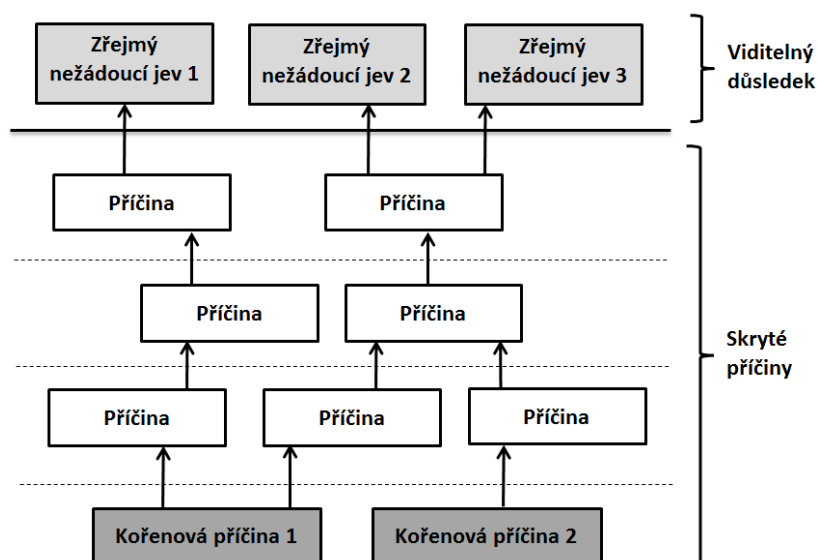
- **Analýza příčinně-následkových řetězců** (*Cause Effect Chains Analysis* – CECA), které byly součástí klasické analýzy kořenových příčin (*Root Cause Analysis* – RCA), techniky původně vyvinuté pro zkoumání příčin nehod, především v letectví,
- **Teorie omezení** (*Theory of Constraints* – TOC), vypracovaná E. M. Goldrattem pro identifikování úzkých míst v podnikatelských činnostech,
- **Tvorba a řešení inovačních zadání** (TRIZ), konkrétně části věnované formulování rozporů (administrativního, technického a fyzikálního) jako východisek pro hledání řešení invenčních problémů. [31]

**Analýza příčinně-následkových řetězců** je analytický nástroj, sloužící k odhalování kořenových příčin nežádoucích vlastností technických systémů, nebo nežádoucích jevů vyskytujících se v technických systémech.

Analýza příčinně-následkových řetězců vychází z principu, že je vždy výhodnější odstranit kořenovou příčinu, nežli viditelný nežádoucí důsledek. Odstraněním viditelného důsledku zpravidla dojde k odstranění právě jen onoho důsledku. Nalezení a eliminace kořenových příčin automaticky vede k eliminaci dalších příčin podél celého příčinného řetězce i eliminaci samotného důsledku. Odstraněním jedné klíčové příčiny může dojít k odstranění více viditelných nežádoucích důsledků. Obecná struktura nežádoucích jevů a jejich skrytých příčin je znázorněna na obr. 3.12.

Výše uvedené výhody nalezení kořenové příčiny jsou zjevné, ale ne kompletní. Další významnou výhodou nalezení kořenové příčiny je její následně relativně snadné odstranění. To je dáno tím, že kořenové příčiny jsou typicky definovatelné na úrovni přírodních věd (fyziky, chemie, biologie) a jejich veličin, takto definované příčiny jsou snadněji řešitelné než komplexní viditelné důsledky. Pokud není možné pojmenovat kořenovou příčinu je nutno pracovat (odstranit) příčinu v řetězci nejvíce vzdálenou od viditelného důsledku.

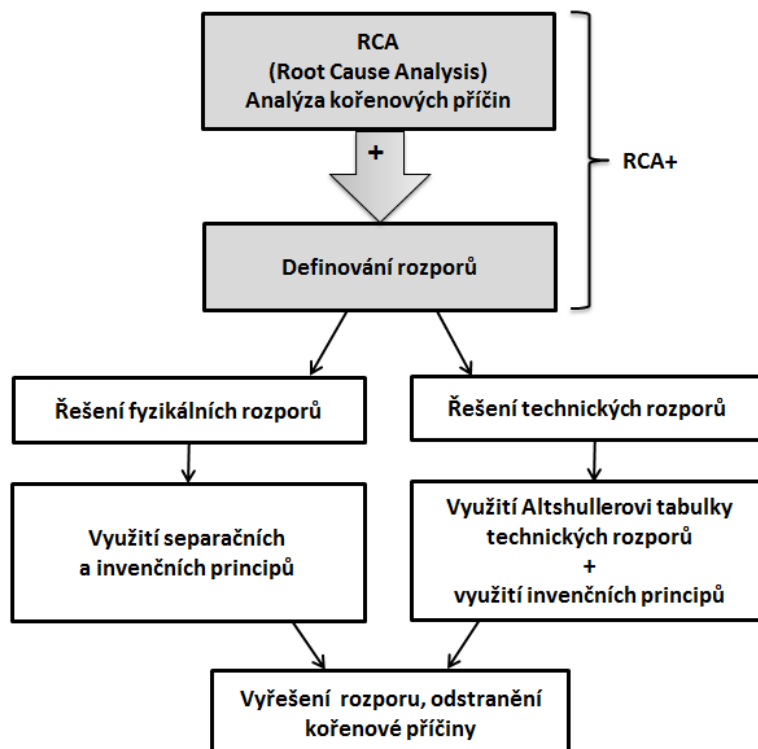
<sup>17</sup> Autorem metody je dr. Valerij Sushkov, metodu poprvé představil na konferenci TRIZ Future Conference 2005 v Rakouském Grazu a popsal ji v publikaci [29].



Obr. 3.12 Viditelné nežádoucí jevy (důsledky) a skryté příčiny

**Metoda RCA+** k výše uvedenému modelování příčinně-následkových řetězců přidává možnost definovat a řešit kořenovou příčinu ve formě rozporu pomocí invenčních, či separačních principů, jež jsou nástrojem metody TRIZ.

Modelování problému pomocí RCA+ pomáhá také ozřejmit vztahy mezi rozporu, aby tím bylo usnadněno rozhodování, který rozpor je kořenový, který vybrat k řešení. Proces nalezení a odstranění kořenových příčin a rozporů pomocí metody RCA+ a nástrojů metody TRIZ je zachycen na obr. 3.13.

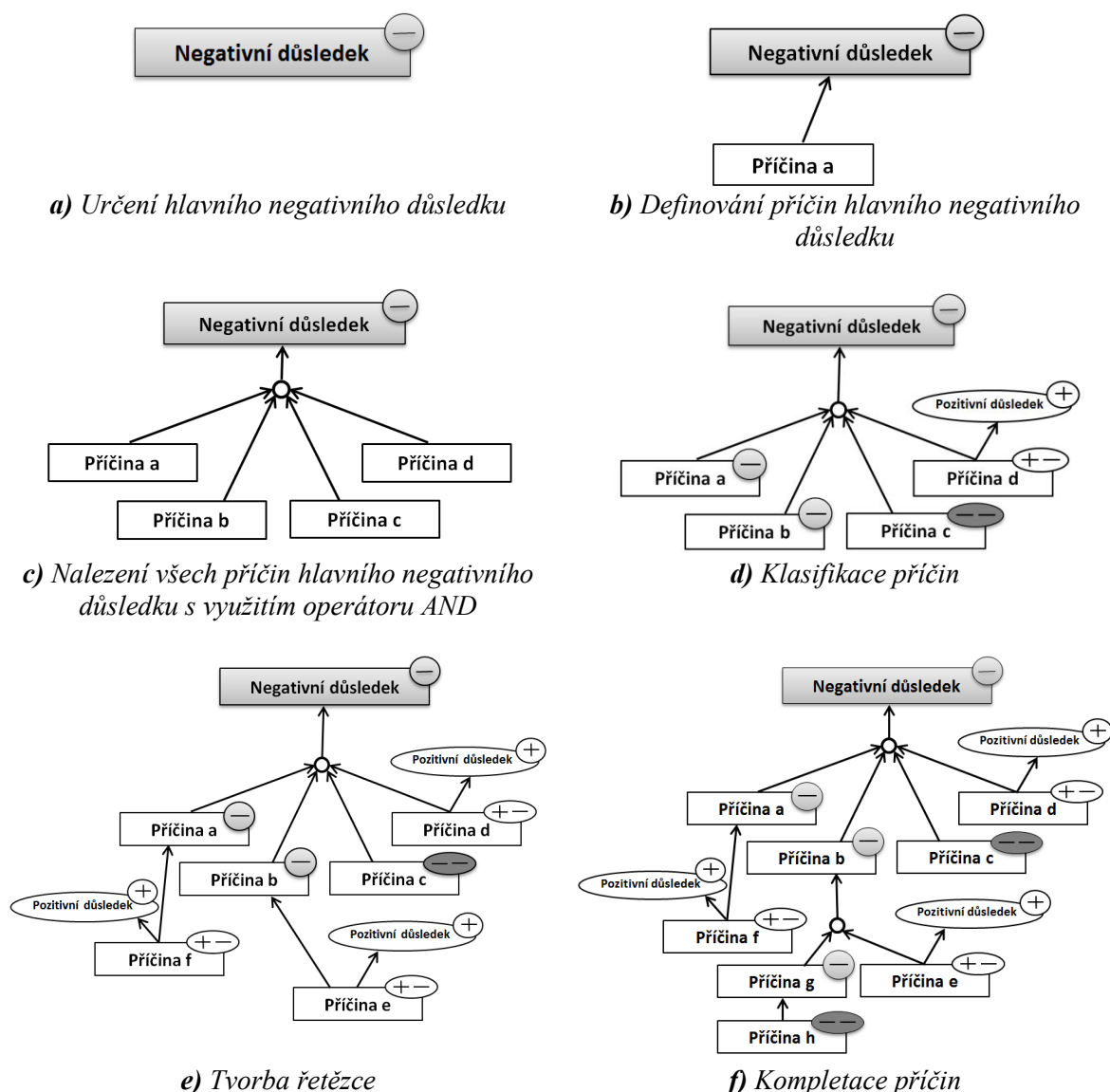


Obr. 3.13 Proces nalezení a odstranění kořenových rozporů pomocí RCA+ a nástrojů TRIZ

### Algoritmus metody RCA+

Postup sestavení příčinně-následkového řetězce RCA+ je zachycen na obr. 3.14 a je následující:

- 1) Určete hlavní nežádoucí (negativní) jev a začněte sestavovat RCA+ model.
- 2) Položte si otázku: „Co způsobuje tento negativní jev?“. Uveďte nalezené příčiny.
- 3) Po definování každé z příčin zkontrolujte, zda neexistují ještě další příčiny, které musí nastat s definovanou příčinou zároveň, aby nastal negativní jev. Pokud ano, jsou tyto závislé příčiny spojeny v modelu logickým operátorem AND.



**Obr. 3.14** Postup sestavení příčinně-následkového řetězce RCA+

- 4) Pro každou již definovanou příčinu si znovu položte otázku: „Co způsobuje tuto příčinu?“. Tímto způsobem vytvořte řetězec příčin a následků. Při definování každé příčiny přiřadíme kategorizaci (negativní, kombinovaná, neměnná). V případě neměnných nepokračujeme v hledání příčin, které je způsobily. V případě kombinovaných příčin zapíšeme kombinovanou příčinu i s kladným důsledkem, který způsobuje a další negativní příčiny, které ji způsobily, již také nehledáme.

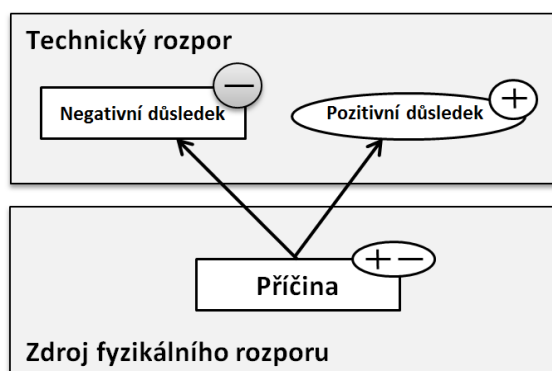


- 5) Pro každou nově nalezenou negativní příčinu zkontrolujte, zda k vyvolání negativního důsledku není nezbytné, aby nastala ještě nějaká další příčina. Pokud ano, spojte příčiny operátorem AND.
- 6) Sestavte tabulku příbuzností příčin (viz tab. 3.4). Tabulka má 4 sloupce (příčina, typ příčiny (viz bod d), pozitivní důsledek, negativní důsledek).

**Tab. 3.4** Tabulka příbuzností příčin

Příčina	Typ příčiny	Pozitivní důsledek	Negativní důsledek
Příčina a	-	nemá	hlavní negativní důsledek
Příčina b	-	nemá	hlavní negativní důsledek
Příčina c	--	nemá	hlavní negativní důsledek
Příčina d	+ -	pozitivní důsledek d	hlavní negativní důsledek
Příčina e	+ -	pozitivní důsledek e	příčina b
Příčina f	+ -	pozitivní důsledek f	příčina a
Příčina g	-	nemá	příčina b
Příčina h	--	nemá	příčina g

- 7) Dle RCA+ modelu vyberte dle umístění operátorů AND příčinu, kterou budete řešit. V případě výběru negativní příčiny je potřeba nelézt kořenovou příčinu a tu odstranit buď přímou eliminací, pomocí fyzikálních efektů, nebo nástroje FOS. V případě výběru kombinované příčiny, která obsahuje rozpory (viz obr. 3.15), je k odstranění příčiny využíváno nástrojů TRIZ, viz následující bod.

**Obr. 3.15** Technické a fyzikální rozpory v RCA+

- 8) Použijte nástroje metody TRIZ k eliminaci rozporů. Rozlišujeme mezi dvěma typy rozporů:
  - technický rozpor – vyskytuje se v případě, že příčina vyvolává negativní i pozitivní efekt,
  - fyzikální rozpor – vyskytuje se v případě, kdy má být příčina ve dvou protichůdných stavech, jeden stav zajišťuje pozitivní důsledek, druhý stav způsobuje negativní důsledek.

K odstraňování technických rozporů je využívána *Altshullerova tabulka technických rozporů* a aplikace *invenčních principů*. Fyzikální rozpory jsou řešeny pomocí *separačních* a *invenčních principů*, tyto nástroje budou blíže představeny v následujících podkapitolách.

### 3.5 Analýza kořenových příčin a rozporů RCA+/OEE

Nástroj **RCA+/OEE** byl definován autorem pro účely hledání kořenových příčin (jako u **RCA**), či kořenových rozporů (jako u **RCA+**) pro zvyšování efektivity strojů a zařízení. Kořenové příčiny či rozpory nevyhovující efektivity strojů a zařízení lze hledat ve třech specifických oblastech:

- časové ztráty využití stroje,
- ztráty rychlosti a výkonu stroje,
- ztráty v kvalitě plnění hlavní funkce stroje.

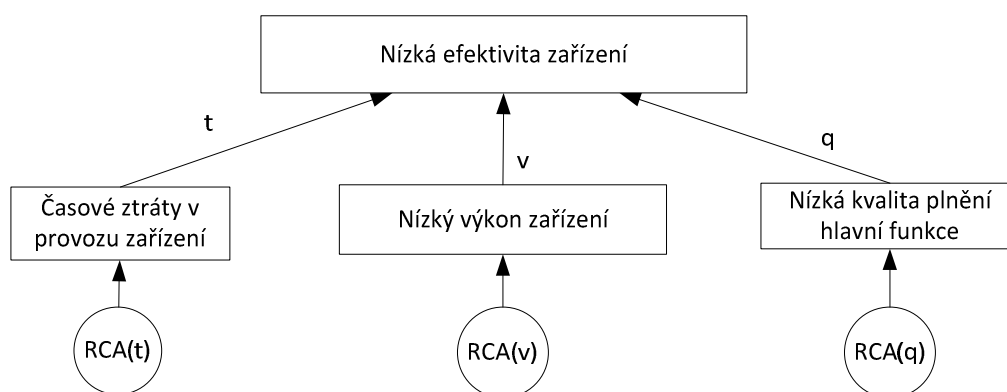
Tyto oblasti ztrát vycházejí z ukazatele **OEE** (*Overall Equipment Effectiveness*)<sup>18</sup> [40], vztahujícímu se k odchylce mezi současným a normálním stavem stroje či zařízení, tedy k událostnímu typu úlohy.

Ukazatel OEE je dán vztahem (3.3), kde  $T$  představuje koeficient časových ztrát,  $P$  je koeficient ztrát výkonu (rychlosti) a  $Q$  je koeficient ztrát v oblasti kvality. Všechny tyto tři koeficienty jsou dány poměry skutečných ku plánovaným hodnotám (času, výkonu, kvality).

$$OEE = T \cdot P \cdot Q = \frac{t_r}{t_p} \cdot \frac{p_r}{p_p} \cdot \frac{q_r}{q_p} \quad (3.3)$$

Zmíněné tři oblasti ztrát, resp. oblasti potenciálního zlepšení lze ovšem nalézt také u odchylky mezi normálním a budoucím stavem stroje či zařízení. Proto se těmito směry hledání možnosti zvýšení efektivity stroje lze inspirovat i v případě řešení cílové úlohy (inovační úlohy).

Zakomponování tří oblastí ztrát dle OEE do první úrovně příčinně-následkového řetězce (RCA, RCA+) tvoří RCA+/OEE, viz obr. 3.16. Větev příčinně-následkového řetězce časových ztrát lze označovat  $RCA+(t)$ , větev ztrát výkonu, či rychlosti  $RCA+(v)$  a větev ztrát v kvalitě plnění hlavní funkce zařízení  $RCA+(q)$ .



**Obr. 3.16** Obecné schéma příčinně-následkového řetězce RCA+/OEE

Při hledání kořenových příčin, resp. rozporů nevyhovující efektivity stroje či zařízení lze tedy vyjít z nevýhod technického systému definovaných pomocí funkční analýzy a následného hledání a řešení příčin těchto nevýhod pomocí RCA+, či hledat a řešit příčiny

<sup>18</sup> Českým ekvivalentem je tzv. *Celková Efektivita Zařízení* (CEZ).

nízké efektivity obecně prostřednictvím RCA+/OEE a funkční analýzu využít k definování komponenty, která je nositelkou nalezené nevýhody technického systému.

### 3.6 Překonávání technických rozporů pomocí invenčních principů

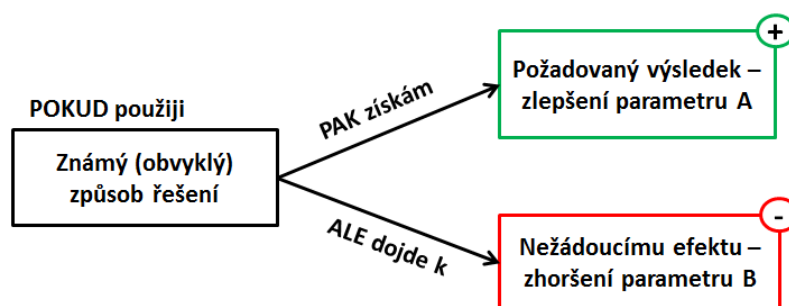
Technický systém se při zlepšování a směřování k ideálnímu řešení kvalitativně mění. Veškeré technické změny provází vznik protikladných požadavků (rozporů, technických překážek, bariér, omezení) a nezbytnost jejich odstranění. Zpravidla se nejdříve rozpory objevují ze strany nadsystému, potom se upřeshňují na úrovni měněného systému a nakonec se rozporné požadavky nejjasněji projevují na úrovni prvků podsystému. Z této pozice se rozlišují tři úrovně formulace rozporů [34]:

- technický rozpor,
- fyzikální rozpor<sup>19</sup>,
- administrativní rozpor<sup>20</sup>.

#### Technické rozpory

Technický rozpor je rozpor, který vzniká mezi několika technickými systémy nebo částmi jednoho systému. **Zlepšením jedné části systému známým (obvyklým) způsobem se nepřipustně zhoršuje jiná část systému a naopak.** K řešení se používají speciální postupy na odstranění technických rozporů. Jinými slovy:

- dosažení požadovaného výsledku známým způsobem způsobuje nepřipustný vedlejší následek (obr. 3.17),
- zlepšením jednoho parametru systému známým způsobem se zhoršuje jiný parametr systému.



Obr. 3.17 Model technického rozporu

#### Invenční principy (IP) – nástroj řešení technických rozporů

Pro řešení úloh, ve kterých se vyskytuje technický rozpor, tj. rozpor vznikající mezi technickými systémy nebo mezi jejich základními částmi, se používají tzv. invenční principy, které Altshuller zpracoval do *tabulky technických rozporů* (viz obr. 3.18), jež lze překonat pomocí *invenčních principů*.

<sup>19</sup> Viz následující podkapitola.

<sup>20</sup> Vzniká mezi technickým systémem a okolím (člověkem) – na technické úrovni není řešen.

Zhoršující se parametr		Zlepšující se parametr					
		1	2	3	4	5	6
1	hmotnost (pohybující se předmět)		-	15, 8 29, 34	-	29, 34	-
2	hmotnost (nepohybující se předmět)	-		-	10, 1 2, 35	-	35, 30 13, 2
3	rozměr (pohybující se předmět)	8, 15 29, 34	-		-	15, 17 4	-
4	rozměr (nepohybující se předmět)	-	35, 28 40, 29	-		-	17, 7 10, 40
5	rozsah (pohybující se předmět)	2, 17 29, 4	-	14, 15 18, 4	-		-
6	rozsah (nepohybující se předmět)	-	30, 2 14, 18	-	26, 7 9, 39	-	

Invenční principy vhodné pro řešení daného technického rozporu

35, 28, 40, 29

③⑤ změna parametru

②⑧ nahrazení mechanického systému

④⑩ kompozitní materiál

②⑨ pneumatika a hydraulika

**Obr. 3.18** Část tabulky obsahující principy překonání technických rozporů [34]

V prvním vertikálním sloupci tabulky se nachází 39 tzv. *standardních parametrů*, které je nutné změnit (zlepšit) podle podmínek úlohy a v prvním horizontálním řádku se nachází totožné parametry, které se v technickém systému zhoršují, jestliže se použijí známé (obvyklé) způsoby řešení daného technického rozporu. V průsečíku sloupců se potom nachází doporučení v podobě invenčních principů, kterými je možné uvedený technický rozpor překonat. Doporučené invenční principy však ukazují jen obecné směry, kde se nachází řešení, ale neosvobozují od nutnosti přemýšlet. [34]

K řešení technických rozporů je doporučován následující postup:

- 1) Definování problému – formulace ve tvaru otázky: „Jak je možno zlepšit parametr A?“.
- 2) Formulace technického rozporu ve tvaru „if-then-but“ (pokud-pak-ale), viz tab. 3.5.

**Tab. 3.5** Formulace technického rozporu ve tvaru „if-then-but“

	Technický rozpor ve tvaru „if-then-but“
IF (pokud)	použijeme ke zlepšení parametru A <b>obecně známý způsob</b>
THEN (pak)	dojde ke zlepšení parametru A
BUT (ale)	dojde ke zhoršení parametru B

- 3) Identifikace typických zlepšovaných a zhoršujících se parametrů dle matice technických rozporů, viz tab. 3.6. V tomto kroku jsou ke specifickým parametrům (zlepšovanému a zhoršujícímu se) hledány co nejbližší parametry z definovaných 39 typických parametrů, ty jsou uvedeny v **příloze I**.

**Tab. 3.6** Identifikace typických zlepšovaných a zhoršujících se parametrů

	Specifický parametr	Typický parametr (dle matice technických rozporů)
Zlepšovaný parametr	Specifický parametr A	Typický parametr A (parametr č. x)
Zhoršující se parametr(y)	Specifický parametr B	Specifický parametr B (parametr č. y)

- 4) Nalezení invenčních principů pro překonání technických rozporů, viz tab. 3.7 i obr. 3.18. Invenční principy leží na průsečíku řádku zlepšovaného a sloupce zhoršovaného parametru.

**Tab. 3.7** Část matice technických rozporů

	Typický zhoršující se parametr č. y
Typický zlepšovaný parametr č. x	Invenční principy č.: a, b, c, d

- 5) Výběr vhodného invenčního principu dle charakteru řešené úlohy. Přehled 40 invenčních principů i s jejich dílčími doporučeními jsou uvedeny v **příloze II**.
- 6) Aplikace vybraného invenčního principu

Využití tabulky technických rozporů a invenčních principů je představeno v případové studii – *Inovace zásobníku polymeru*, popsané v **podkapitole 4.3**.

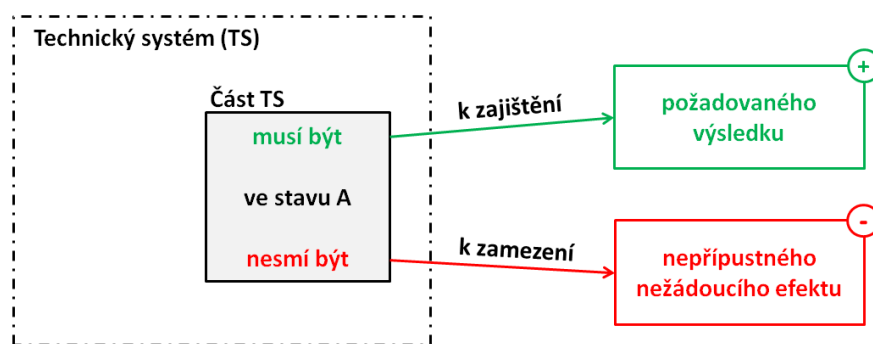
### 3.7 Překonávání fyzikálních rozporů pomocí separačních principů

#### Fyzikální rozpory (FR)

Fyzikální rozpor, je nejvyšší rozpor, který se projevuje tím, že jsou na jednu komponentu technického systému kladeny protikladné, příp. rozdílné požadavky z pohledu fyzikálního stavu.

Fyzikální rozpor v obecné podobě zní: „Část technického systému **MUSÍ BÝT ve stavu A**, aby bylo dosaženo požadovaného výsledku, **ALE NESMÍ BÝT ve stavu A** aby bylo zamezeno nepřípustnému vedlejšímu efektu“. Model fyzikálního rozporu je zachycen na obr. 3.19.

Fyzikální rozpor má také podobu, kdy jedna a tatáž fyzikální veličina vztahující se k části technického systému, resp. její komponentě má nabývat rozdílných hodnot (např. komponenta A má mít teplotu  $t_1$  a zároveň teplotu  $t_2$ , nebo komponenta B má mít hmotnost  $m_1$  a zároveň hmotnost  $m_2$  atd.).



**Obr. 3.38** Model fyzikálního rozporu

#### Separaciční principy (SP)

Řešení libovolného fyzikálního rozporu je spojeno s použitím víceméně dvou tzv. separačních principů:

- rozdělení rozporných vlastností **v čase**,
- rozdělení rozporných vlastností **v prostoru**.

Ostatní známé principy (separace na úrovni fáze, separace v systémové úrovni), zapojující možnost systémových, fázových a fyzikálně-chemických přechodů, jen pomáhají realizovat první dva, tj. jsou jejich specifickými mechanismy působení. Vycházejí z tohoto, je možné zformulovat jednoduchá pravidla výběru principu v závislosti na konkrétní situaci.

- **Pravidlo 1:** Jestliže se od objektu (látky, pole) požaduje projev protikladných vlastností v jednom a tomtéž místě, tak se takový rozpor řeší rozdělením těchto vlastností v čase.
- **Pravidlo 2:** Jestliže se od objektu (látky, pole) požaduje projev protikladných vlastností v jeden a tentýž čas, tak se takový rozpor řeší rozdělením těchto vlastností v prostoru objektu.
- **Pravidlo 3:** Jestliže se od objektu (látky, pole) požaduje projev protikladných vlastností v jednom místě prostoru a v jednom čase, tak se rozdělení vlastností v prostoru uskutečňuje v podsystému, a rozdělení vlastností v čase v nadsystému nebo naopak [32].

Pro realizaci separačních principů je vhodné použít invenční principy, které jsou využívány k řešení technických rozporů. Přehled separačních a k nim příslušejících invenčních principů je shrnut v tabulce 3.8.

**Tab. 3.8** Přehled separačních a k nim příslušejících invenčních principů dle SW Goldfire Innovator

Separací princip	Invenční principy*
Separace v čase	9, 10, 11, 15, 16, 18, 19, 20, 21
Separace v prostoru	1, 2, 3, 4, 7, 17, 24, 26
Separace na úrovni fáze	13, 28, 32, 35, 36, 38, 39
Separace v systémové úrovni (systém – podsystém), přesun jednoho ze stavů do subsystému	1, 27
Separace v systémové úrovni (systém – nadsystém), přesun jednoho ze stavů do nadsystému	5, 22

\*... viz příloha I

Řešení fyzikálních rozporů pomocí separačních a invenčních principů je představeno v rámci případové studie *Inovace přívodem plynného média*, popsané v **podkapitole 4.5** a studie *Inovace kolektoru typu kartáč*, popsané v **podkapitole 4.6**.

### 3.8 Využití databáze efektů

Dalším nástrojem metody TRIZ, resp. TřE jsou tzv. efekty. Efekt definujeme v rámci metody TRIZ jako způsob získání potřebné funkce využitím zdrojů a to na základě fyzikálního, chemického nebo geometrického efektu.

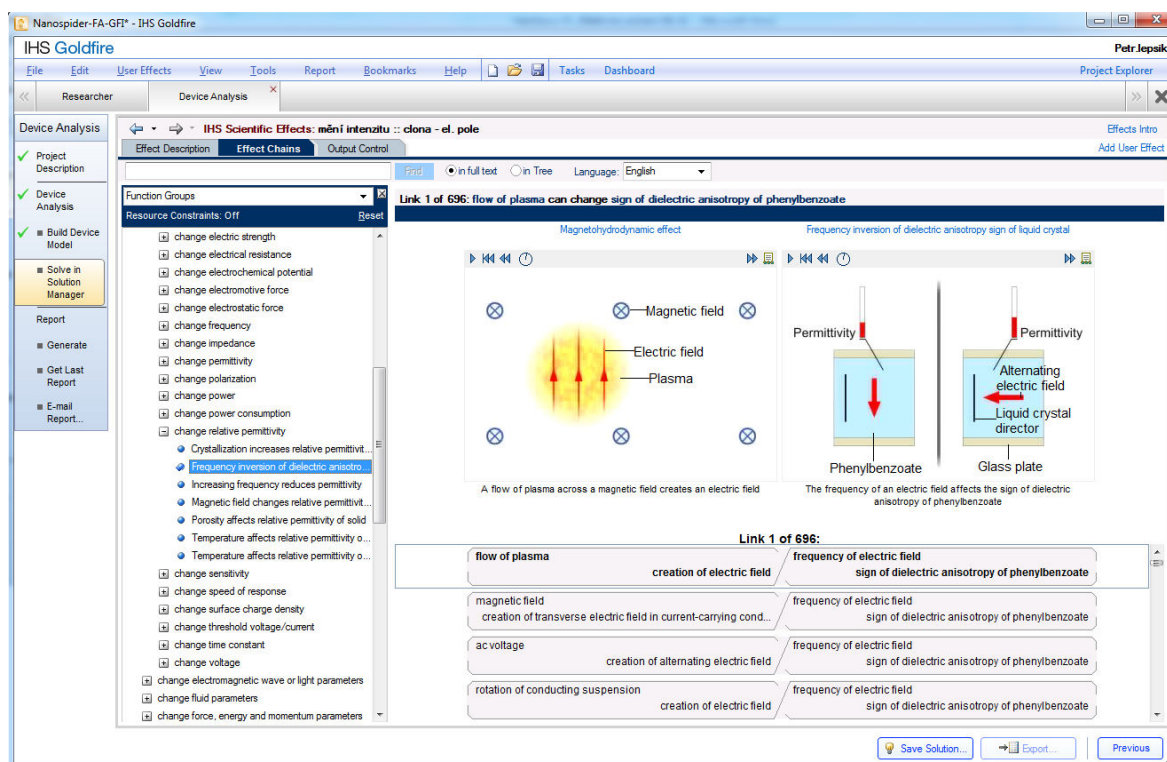
Efekty jsou využívány za účelem získání požadované funkce, např. posílení nedostatečné, oslabení nadbytečné, či eliminace škodlivé funkce odhalené pomocí funkční analýzy (FA). Pomocí efektů je také možno eliminovat kořenovou příčinu nežádoucího jevu odhalenou pomocí příčinně-následkového řetězce RCA, resp. RCA+.

Využitelnost efektu předpokládá popis efektu, seznam realizovatelných funkcí, seznam potřebných zdrojů. Je-li známo působení (příčina) na vstupu a je-li určeno jaké je potřebné působení (důsledek) na výstupu, je možno určit efekt (jev, projev zákona, změnu

vlastností) a materiální objekt (zdroje, potřebné vlastnosti objektu). Přehled vybraných efektů a jejich využití je uveden v **příloze IV** této práce.

V současné době je vhodné pro nalezení žádaného efektu využít některého ze specializovaných softwarů zaměřených na metodu TRIZ. Např. expertní systém Goldfire Innovator [58] disponuje databází více než 9000 efektů. Uživatelské rozhraní databáze vědeckých efektů SW Goldfire Innovator je zachyceno na obr. 3.39.

Systém pomáhá řešiteli při výběru požadované funkce, stanovení existujících zdrojů a poskytuje nápovědu použitelných fyzikálních, chemických a geometrických efektů (základní vědy) včetně řetězců efektů. Teoretické popisy efektů jsou doplněny příklady jejich úspěšných použití v podobě patentově chráněných technických realizací (zhmotnění základních věd v technice).



Obr. 3.39 Databáze vědeckých efektů SW Goldfire Innovator

### 3.9 Funkčně orientované vyhledávání (FOS)

Metoda FOS (*Function Oriented Search*)<sup>21</sup>, neboli funkčně orientované vyhledávání je založena na myšlence, že s velkou pravděpodobností již někdo, někdy, někde z funkčního pohledu řešil podobný problém a řešení z funkčního pohledu již existuje. Podstata metody spočívá ve třech hlavních krocích:

- zformulování vlastního problému na funkční úrovni,
- vyhledání, z funkčního hlediska, již existujícího řešení,
- adaptování nalezeného řešení na řešení našeho problému.

<sup>21</sup> Autorem metody je dr. Simon Litvin (GEN3 Partners, Inc.), který metodu poprvé představil na konferenci TRIZ Future Conference 2004 ve Florencii a popsal ji v publikaci [59].



Pro porozumění metodě FOS je nezbytné nepohlížet na stroje a jejich díly z objektového hlediska, nýbrž z hlediska funkčního. Toto mají metoda FOS a FA (funkční analýza) společné. U metody FOS je navíc potřeba umět definovat funkce v zobecněné rovině.

### Leading Area (vedoucí odvětví)

Pomocí metody FOS je možno vyřešit specifický problém velmi efektivně, pokud jsou již existující řešení hledána v tzv. *Leading Areas*, neboli technologicky vedoucích odvětvích. Takovými odvětvími jsou odvětví, kde byl již podobný problém řešen s výrazně vyšší prioritou a řešení problému bylo důležitější, nežli řešení našeho problému. Za takových podmínek lze předpokládat, že řešení vytvořená v *Leading Areas* dosahují vysoké kvality, která je pro řešení našeho problému s rezervou dostačující. Obecně jsou za *Leading Areas* považována odvětví, do kterých společnost investuje nejvíce finančních prostředků, času a lidského úsilí. Takovými oblastmi jsou např. vesmírný výzkum, medicína, či vývoj technologií pro vojenství.

### Algoritmus funkčně orientovaného vyhledávání (FOS)

Algoritmus definovaný dr. Litvinem obsahuje celkem 11 kroků [59], ty lze za účelem rychlejší aplikace sloučit a zredukovat do následujících 7 kroků:

- 1) Identifikace klíčového specifického problému, který má být řešen (pomocí funkční analýzy, či příčinně-následkových řetězců).
- 2) Formulace specifické funkce, která má být vykonána.
- 3) Formulace požadovaných funkčních parametrů.
- 4) Převedení specifické funkce na zobecněnou funkci.
- 5) Identifikace průmyslového odvětví, či vědecké disciplíny ve které je podobná funkce vykonávána již existujícím řešením. Přednostně by řešení mělo být vybíráno z *Leading Area*.
- 6) Výběr řešení z *Leading Area*, které je nejvhodnější pro vykonání zobecněné funkce.
- 7) Identifikace a řešení sekundárního problému, spočívajícího v adaptaci nalezeného řešení na řešení našeho specifického klíčového problému.

Vyhledávání na úrovni funkcí je prováděno pomocí specializovaných softwarových nástrojů (např. SW Goldfire Innovator), které využívají při vyhledávání sémantický přístup [60]. Princip jednoho ze systémů, využívajícího funkčně orientované vyhledávání, je blíže představen v patentu [61].

Metoda FOS byla primárně vytvořena pro řešení problémů v oblasti inovace výrobků, autor této práce metody FOS řešil např. inovaci bezpečnostního systému automobilové sedačky, viz [62-64]. Metodu FOS je ovšem možné s výhodou využít také pro řešení problémů v oblasti zvyšování efektivity strojů a zařízení včetně jejich údržby, viz kapitola 5.

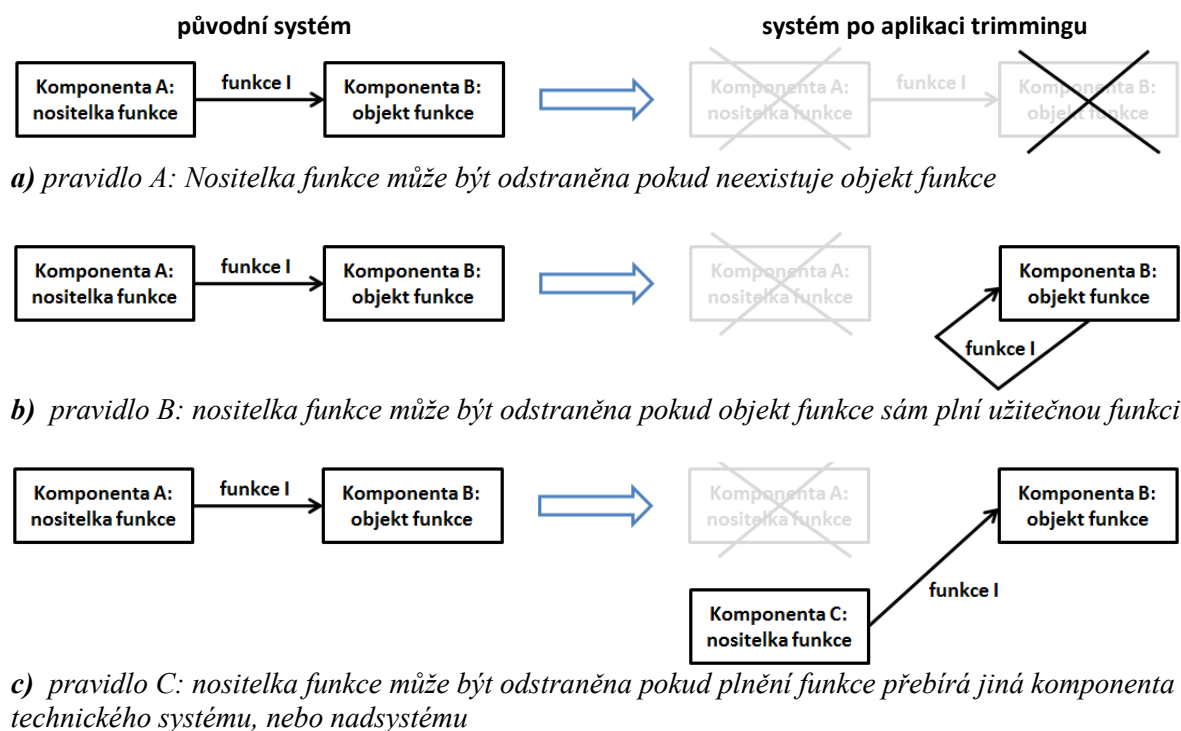
## 3.10 Trimming

Nástroj trimming spočívá ve zjednodušování konstrukce stroje, zařízení, či výrobku (obecně technického systému) za účelem snížení nákladů. Toto zjednodušení je realizováno odstraněním některé komponenty, či komponent technického systému. Nástroj trimming je používán v souladu s *trendem zvyšování ideálnosti technického systému* (viz obr. 3.5), popsaného v podkapitole 3.1, který říká, že ideální komponenta technického



systému je taková komponenta, která neexistuje<sup>22</sup>, ale její užitečné funkce jsou zachovány. Při odstraňování (trimmování) komponenty technického systému je nutno zohlednit, resp. vyřešit jakým způsobem budou nadále plněny užitečné funkce odstraňované komponenty. Trimming (odstranění) komponenty technického systému je možno provést pokud je splněno některé z následujících pravidel (viz obr. 3.40):

- **pravidlo A: objekt funkce neexistuje,**
- **pravidlo B: objekt funkce sám plní užitečnou funkci,**
- **pravidlo C: plnění funkce přebírá jiná komponenta technického systému, nebo nadsystému.**



Obr. 3.40 Pravidla trimmingu

Použití nástroje trimming bude představeno v **podkapitole 4.7 – Studie možnosti zjednodušení technického systému.**

### 3.11 Trendy rozvoje technických systémů (TESE)

Trendy rozvoje technických systémů (*Trends of Engineering Systems Evolution – TESE*) definované následovníky G. Altshullera popisují přirozené přechody technického systému z jednoho stavu do druhého a jsou platné pro všechny obory technických systémů. Byly identifikovány na základě analýzy významných světových patentů z rozsáhlého souboru patentových databází a historických směrů vývoje technických systémů.

Trendy rozvoje technických systémů zaujímají v metodě TRIZ zvláštní místo, neboť nabízejí pohled na technický systém z různých časových perspektiv – od minulosti, přes přítomnost až do budoucnosti. Již v počátcích metody TRIZ byly tyto trendy v díle G.

<sup>22</sup> Ideální (nepřítomné) komponenty není potřeba vyrábět, montovat, měnit, udržívat, likvidovat, neprodukuje nežádoucí efekty, nezabírají místo, ani nejsou poruchové, ani se neopotřebují [32].

Altshullera statisticky dokázány a **dodnes jsou akceptovány jako objektivní směry vývoje techniky** a jsou jedním z pilířů nejen metody TRIZ, ale i systematického inovačního procesu v oblasti techniky.

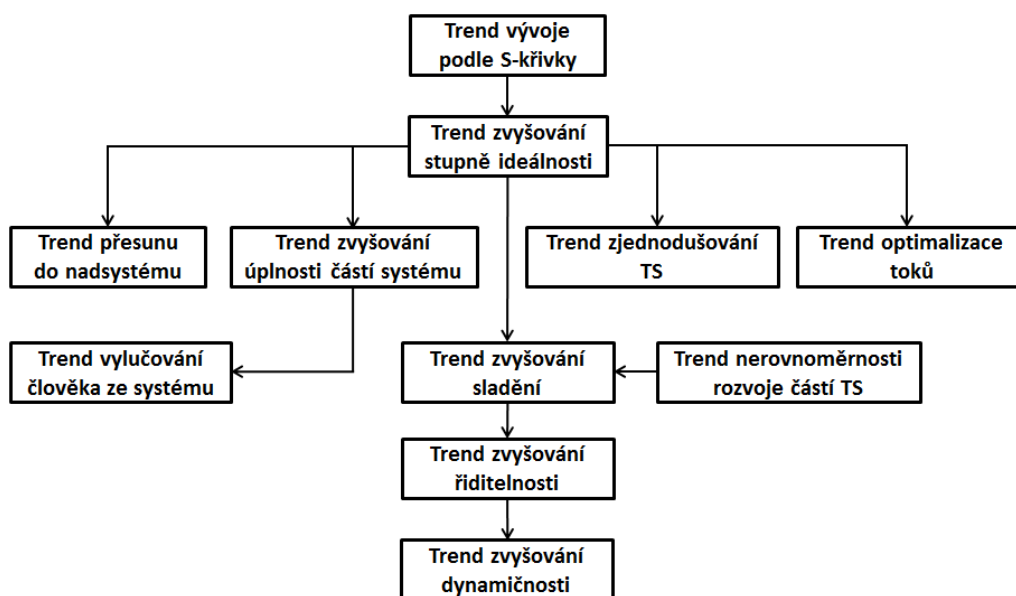
V literatuře týkající se metody TRIZ se lze setkat s řadou názvů označujících směry vývoje technických systémů. Jsou to výrazy jako *trends*, *patterns*, *laws*, *lines*. Původně Altshuller nazval své směry zákonitostmi (*laws*) a rozdělil je do tří skupin:

- **zákonitosti statiky** – do této skupiny patří zákonitost úplnosti částí TS, zákonitost energetické průchodnosti TS a zákonitost souladu rytmu činnosti TS,
- **zákonitosti kinematiky** – do této skupiny patří zákonitost přechodu TS do nadsystému a zákonitost zvyšování stupně ideálnosti TS,
- **zákonitosti dynamiky** – do této skupiny jsou zahrnuty zákonitost zvyšování dynamičnosti TS a zákonitost přechodu TS z makro na mikroúroveň.

Vedle toho vznikly vybrané směry vzorů (*patterns*), které vypracoval Altshullerův žák B. Zlotin:

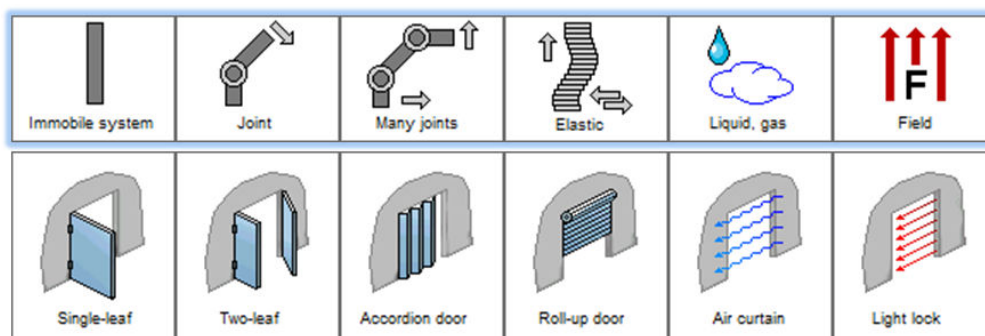
- zvyšování ideálnosti,
- mono-bi-poly systém,
- segmentace,
- vývoj struktury látek,
- dynamizace,
- zvyšování říditelnosti,
- univerzálnost,
- soulad a nesoulad komponent [52].

Všechny trendy nejsou považovány za stejně důležité a mají i určitou hierarchickou strukturu. Další Altshullerův žák S. Ikenenko proto vypracoval systém trendů, viz obr. 3.42, kde nejvyšší úroveň zaujímá trend vývoje podle S-křivky a návazný trend zvyšování stupně ideálnosti, tyto trendy již byly s ohledem na strukturu metody TřE popsány v podkapitole 3.2.

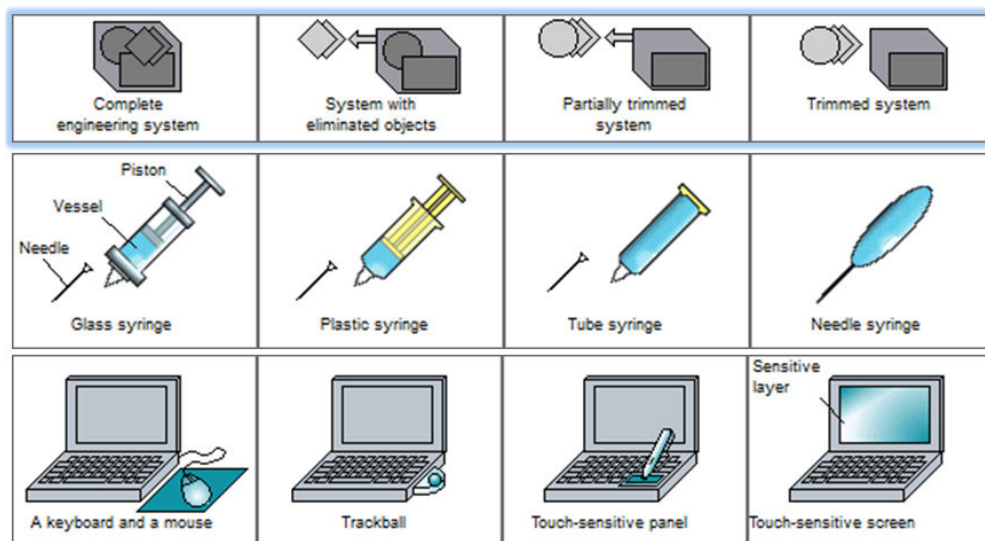


Obr. 3.42 Trendy rozvoje technických systémů podle Ikenenka [57]

Trendy rozvoje technických systémů jsou také součástí expertních systémů, jakými jsou např. Goldfire Innovator, či Directed Evolution. Příklad trendu segmentace s uvedením příkladů je zachycen na obr. 3.43, příklad trendu dynamizace na obr. 3.44 a trendu zjednodušování technického systému na obr. 3.45.



Obr. 3.43 Trend zvyšování dynamičnosti



Obr. 3.44 Trend zjednodušování technického systému

Znalost obecných zákonitostí (trendů) rozvoje technických systémů napomáhá snadněji predikovat směr vývoje inovovaného technického systému. Použití nástroje trendy rozvoje technických systémů (TESE) bude představeno v **podkapitole 4.8** na příkladu vývoje zařízení pro výrobu nanovláken elektrostatickým zvlákňováním.

# KAPITOLA 4

## APLIKACE NAVRŽENÉ METODY PŘI INOVACI ZAŘÍZENÍ

Aplikace navržené metody zvyšování efektivity strojů a zařízení TřE bude představena prostřednictvím vlastních úloh, u kterých bylo cílem zvyšovat produktivitu zařízení pro výrobu nanovláken využívajícího principu elektrostatického zvlákňování z volné hladiny polymerního roztoku. Tyto úlohy řeší aktuální vědecké problémy, jejichž řešení se **autor** účastnil v rámci **odborné a výzkumné činnosti** na KST FS TUL. Některé řešené inovační úlohy přesahují rámec TřE rozpracováním idejí MKP a experimentálním ověřením idejí. To především z důvodu **naplnění druhého hlavního cíle této práce, kterým je poskytnutí poznatků ze zvyšování efektivity zařízení na výrobu nanovláken.**

Dále bude uplatnění navržené metody TřE představeno v kontextu **pedagogické činnosti autora**, konkrétně při vedení diplomových prací, resp. diplomové práce zaměřené na zvyšování efektivity měřicího zařízení.

Dvě z uvedených úloh (**Inovace kolektoru typu kartáč a Inovace přípravku měřicího zařízení**) mají **verifikační charakter**, kdy poskytují porovnání řešení které bylo nalezeno intuitivním způsobem s řešením, které bylo nalezeno systematicky metodou TřE.

### **4.1 Úvod do problematiky zvyšování produktivity zařízení na výrobu nanovláken**

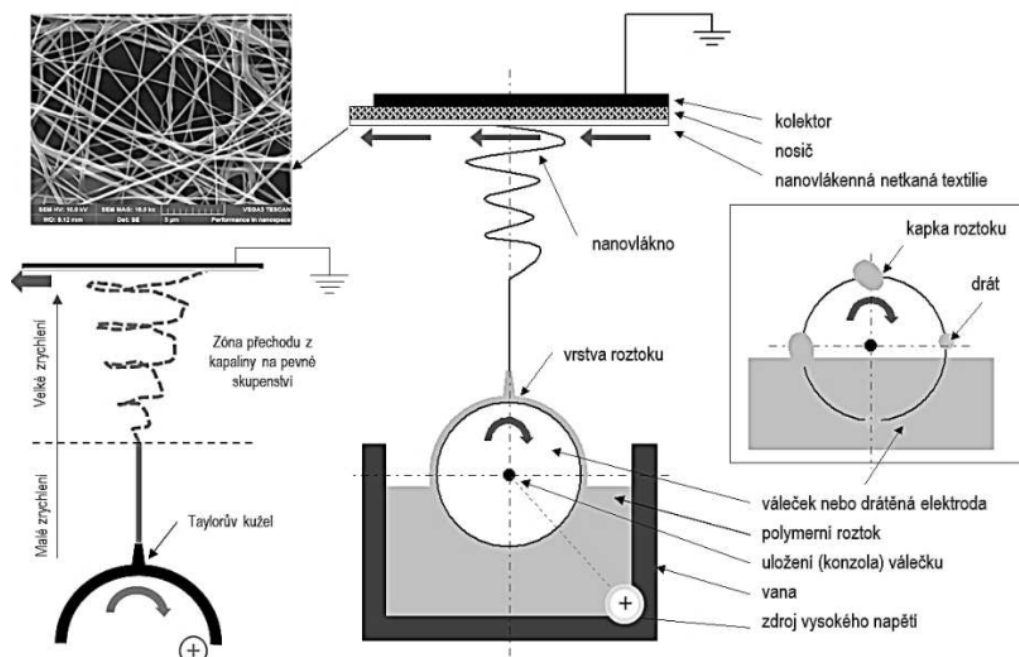
Výroba nanovláken se v posledních desetiletích stala objektem zájmu mnoha výzkumných oddělení. Princip elektrostatického zvlákňování je znám poměrně dlouhou dobu (první patent byl publikován r. 1934 A. Formhalsem). Nicméně proces zvlákňování dosahoval díky využití systému zvlákňování z jehly poměrně nízké produktivity. Zlom přinesl nový způsob zvlákňování z volné hladiny polymeru Nanospider<sup>TM</sup>.

Elektrostatické zvlákňování představuje způsob výroby nanovláken<sup>23</sup> tvořených z roztoků či tavenin vláknотvorných látek. Pokud nabitá kapalina překoná síly povrchového napětí, začne se povrch kapaliny polymeru deformovat a v jistém okamžiku dojde k vyvržení proudu polymeru doprovázeného zformováním tzv. Taylorova kužele. Proud polymeru je následně přitahován k opačně nabitě elektrodě, přičemž dochází k částečnému dloužení a snižování průměru vznikajícího vlákna. Na opačné elektrodě, obvykle pokryté vhodným nosičem, se vzniklá vlákna ukládají za vzniku téměř izotropně uspořádané netkané textilie. Elektrostatické zvlákňování je možné realizovat více způsoby, na obr. 4.1 je znázorněno schéma elektrostatického zvlákňování z povrchu rotujícího válečku, které představuje relativně produktivní způsob přípravy nanovláknenných vrstev vhodný i pro průmyslovou výrobu. Jednou z hlavních komponent zařízení je zde váleček (zvlákňovací elektroda)

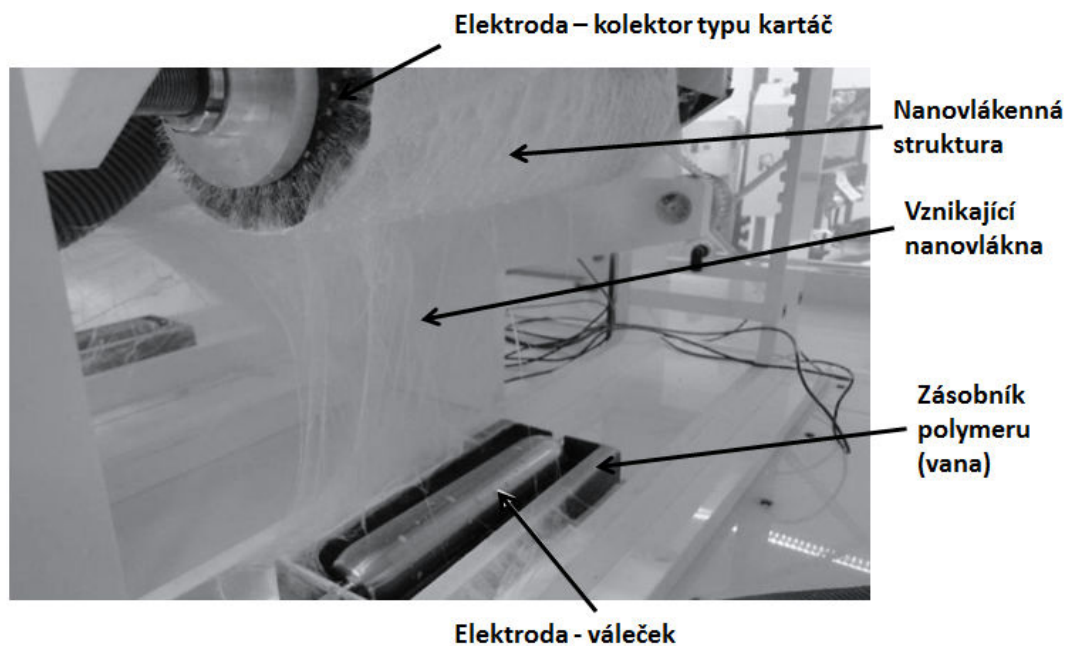
---

<sup>23</sup> Průměr nanovláken se obvykle pohybuje mezi 50 a 800 nm.

připojený ke zdroji vysokého napětí s obvykle kladným nábojem<sup>24</sup>. Váleček je částečně ponořen do roztoku polymeru umístěného v zásobníku (vaně), otáčení válečku zajišťuje vynesení polymeru na jeho povrch v podobě tenkého filmu. Opačná elektroda (kolektor) je nabíjena opačným nábojem nebo je uzemněna. [35] Zařízení Nanospider má v současné době více podob, kdy se liší jednotlivé komponenty, zvlákňovací elektroda je v podobě válečku, drátové elektrody či struny, kolektor má také různé variace. Na obr. 4.2 je zachycen reálný proces zvlákňování (systém se sběrnou elektrodou typu kartáč).



Obr. 4.1 Schéma technologie elektrostatického zvlákňování [35]



Obr. 4.2 Proces elektrostatického zvlákňování

<sup>24</sup> Napětí na kladné elektrodě je zpravidla nastaveno na 60 - 100 kV.

Produktivita procesu elektrostatického zvlákňování je dána především intenzitou elektrostatického pole, která může být obecně definována jako limitní síla působící na jednotkový náboj podle rovnice (4.1).

$$\vec{E} = \lim_{q \rightarrow 0} \frac{\vec{F}}{q} \quad (4.1)$$

Kde  $\vec{E}$  vyjadřuje intenzitu elektrického pole,  $\vec{F}$  je působící síla,  $q$  je jednotkový náboj. Využitím intenzity elektrického pole  $\vec{E}$  můžeme stanovit elektrické napětí mezi 2 polohovými vektory  $r_1$  a  $r_2$  definované vztahem (4.2), kde  $\varphi(r_i)$  vyjadřuje potenciál elektrického pole.

$$U = \int_{r_1}^{r_2} \vec{E} dl = \varphi(r_1) - \varphi(r_2) \quad (4.2)$$

V látkovém prostředí (vnější okolí) definujeme vektor elektrické indukce  $\vec{D}$  popsany rovnicí (4.3).

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \quad (4.3)$$

Kde  $\varepsilon_0$  vyjadřuje permitivitu vakua ( $\varepsilon_0 = 8,854187817 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$ ),  $\vec{P}$  je elektrická polarizace popsaná vztahem (4.4).

$$\vec{P} = \varepsilon_0 \chi \vec{E} \quad (4.4)$$

Kde  $\chi$  vyjadřuje elektrickou susceptibilitu materiálu (pro vzduch  $\chi = 0,00054$ ). Podle rovnice (4.4) můžeme následně vyjádřit elektrickou indukci  $\vec{D}$  rovnicí (4.5).

$$\vec{D} = \varepsilon_0 (1 + \chi) \vec{E} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \vec{E} \quad (4.5)$$

Kde  $\varepsilon_r$  vyjadřuje relativní permitivitu materiálu ( $\varepsilon_r = 1 + \chi$ ).

Zdrojem toku elektrické indukce je náboj resp. elektrické pole. Platí zde Gaussova věta elektrostatiky (3. Maxwellova rovnice) popisující, že tok (divergence) vektoru elektrické indukce uzavřenou plochou obklopující náboj  $q$  je úměrný množství náboje a nezávisí na tvaru plochy  $S$ , což popisuje Einsteinova sumační konvence (4.6).

$$\text{div} \vec{D} = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\int_S \vec{D} d\vec{S}}{\Delta V} \equiv \partial_i D_i \text{ resp. } \oint_S \vec{D} d\vec{S} = q \quad (4.6)$$

Kde  $V$  je objem elektrického pole.

V elektrostatickém poli nezávisí práce, kterou vykoná náboj  $q$  po křivce, na tvaru křivky resp. pohybem po libovolně uzavřené křivce práci nekonáme, což popisuje uzavřený integrál podle rovnice (4.7).

$$\text{rot} \vec{E} = (\text{rot} \vec{E})_i = \lim_{\Delta S_i \rightarrow 0} \frac{\oint \vec{E} d\vec{l}}{\Delta S_i} = \varepsilon_{ijk} \partial_j E_k = 0 \quad (4.7)$$

Kde  $\varepsilon_{ijk}$  je Levi – Civitàv permutační symbol.

Ze vztahu (4.7) plyne, že intenzitu elektrostatického pole  $\vec{E}$  lze chápat jako gradient potenciálu  $\phi$  popsatelný Laplace - Poissonovou rovnicí podle vztahu (4.8).

$$\text{grad} \phi = -\frac{\rho_D}{\varepsilon_0} \text{ resp. } \text{rot} \vec{E} = 0 \quad (4.8)$$

Kde  $\rho_D$  je hustota elektrické indukce.

Energie elektrostatického pole  $W_E$  lze následně definovat dle práce vykonané přemístěním bodového náboje  $q'$  z  $\infty$  do vzdálenosti  $r$  od bodového náboje  $q$  podle rovnice (4.9). Což lze také vyjádřit s formulací Gaussovi věty elektrostatiky podle rovnice (4.10), z čehož následným derivováním objemu lze vyjádřit i objemovou hustotu energie elektrostatického pole (4.11).

$$W_E = -\frac{1}{2} \sum_j \phi_j q_j = \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \frac{q_i q_j}{4\pi\varepsilon_0 r_{ij}} \text{ resp. pro jeden náboj } W_E = \frac{qq'}{4\pi\varepsilon_0 r} \quad (4.9)$$

$$W_E = \frac{1}{2} \int_V \text{div}(\phi \vec{D}) dV - \frac{1}{2} \int_V \vec{D}(\text{grad} \phi) dV \quad (4.10)$$

$$\frac{dU_E}{dV} = \frac{1}{2} \vec{D} \vec{E} \approx \frac{1}{2} \varepsilon_r \varepsilon_0 E^2 \quad (4.11)$$

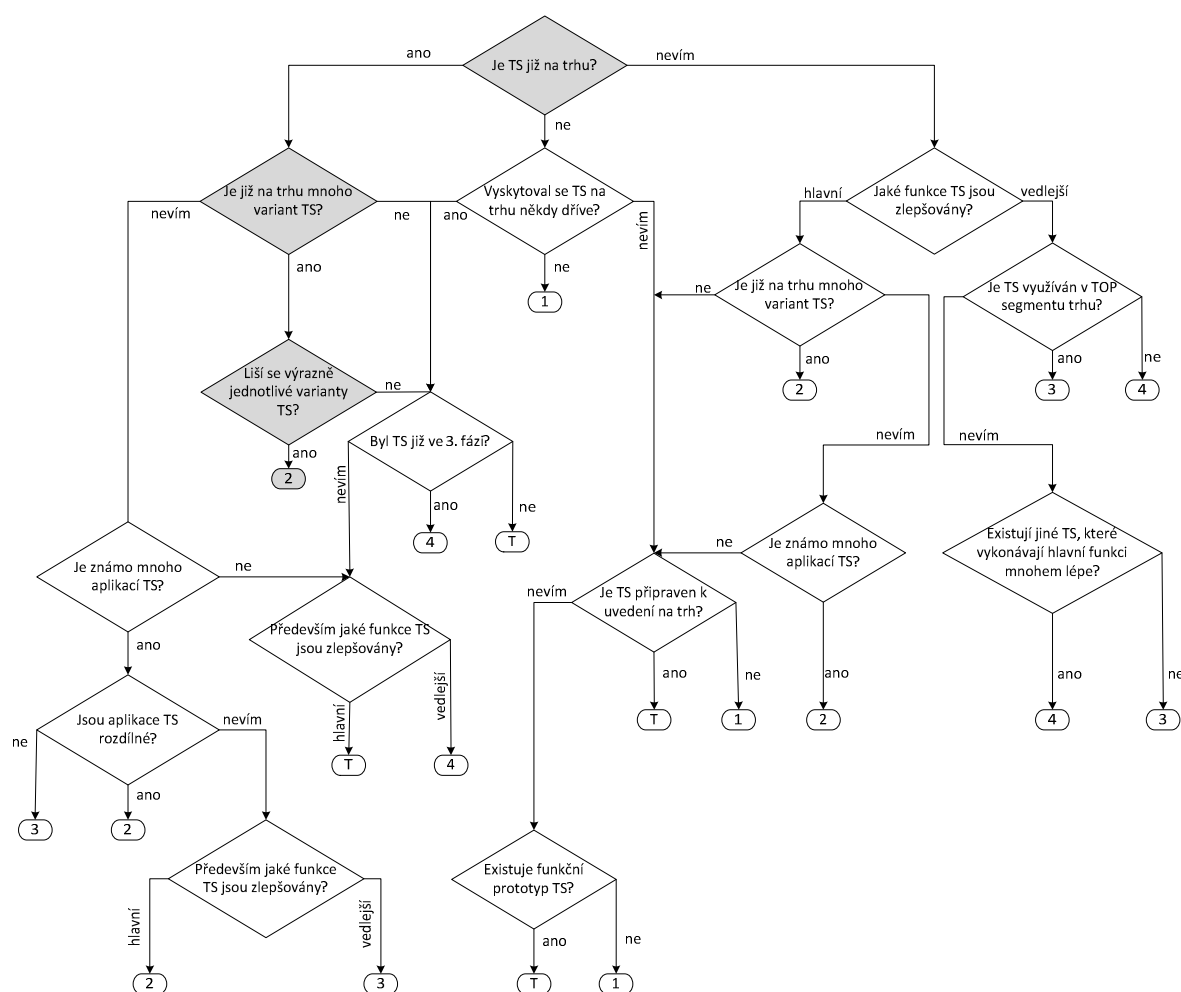
Výsledný elektrostatický potenciál v místě  $j$ -tého náboje (4.12) lze potom vyjádřit z energie elektrostatického pole popsané rovnicí (4.9). [65]

$$\phi_j = \sum_i \frac{q_i}{4\pi\varepsilon_0 r_{ij}} \text{ resp. pro jeden náboj } \phi = \frac{qq'}{4\pi\varepsilon_0 r} \quad (4.12)$$

## 4.2 Identifikace příčin nízké efektivity zařízení metodou TfE

### 4.2.1 Analýza S-křivky Nanospideru

Prvním krokem navrženého algoritmu TfE (viz obr. 3.1) je provedení analýzy *S-křivky* a identifikace vývojové fáze technického systému. Na základě té bude s přihlédnutím k *trendu zvyšování ideálnosti technického systému* (viz obr. 3.6) stanovena strategie inovace technického systému. Využitím algoritmu pro stanovení fáze S-křivky, bylo zjištěno, že vývoj Nanospideru se nachází ve **2. fázi S-křivky**, viz obr. 4.3



Obr. 4.3 Stanovení vývojové fáze Nanospideru

Podle *trendu zvyšování ideálnosti technického systému* je v této fázi *S-křivky* strategickým cílem inovace zlepšovat hlavní funkce technického systému i za cenu navýšení nákladů. V případě Nanospideru, jehož hlavní funkcí je produkovat nanovlákná a hlavním parametrem je produktivita výroby nanovláken, je strategickým cílem inovace zvyšovat produktivitu výroby nanovláken.



### 4.2.2 Identifikace nežádoucích funkcí pomocí funkční analýzy (FA)

Druhým krokem navrženého algoritmu TřE je provedení funkční analýzy (FA). Pokud nám **analýza S-křivky** poskytla informaci, že máme zlepšovat technický systém **ve smyslu** zvyšování hlavního parametru TS (produktivity výroby nanovláken). **Funkční analýza** by nám měla poskytnout informaci, **kde** ho máme zlepšovat, resp. na kterou komponentu a její funkci bychom se při zlepšování měli zaměřit.

Při provádění funkční analýzy Nanospideru byla nejprve vybrána vhodná hierarchická úroveň komponent, následně byly provedeny všechny tři fáze funkční analýzy – analýza komponent, analýza interakcí a modelování funkcí. Funkční analýza byla provedena pro dvě varianty Nanospideru – systém s nosičem nanovlákněné vrstvy a systémem využívajícím kolektor v podobě kartáče. Pro provedení funkční analýzy systému s nosičem byl využit SW Navigator, pro provedení funkční analýzy systému s kartáčem byl pro ilustraci použit SW Goldfire Innovator.

#### Systém s nosičem nanovlákněné vrstvy

První fází funkční analýzy je analýza komponent, jejímž výstupem je model komponent technického systému a nadsystému, případně seznam těchto komponent, ten je uveden na obr. 4.4. Do analýzy je zahrnuto 6 komponent technického systému Nanospideru a 3 komponenty nadsystému (angl. supersystem), přičemž komponenta nadsystému *nanovlákněná vrstva* je zároveň *objektem hlavní funkce* technického systému.

č	System Component	Supersystem Component
1	Váleček	Polymer
2	Vana	Nanovlákněná vrstva
3	Elektrické pole	Vzduch
4	Zdroj napětí	
5	Nosič	
6	Kolektor	

**Obr. 4.4** Analýza komponent – seznam komponent technického systému a nadsystému (systém s nosičem)

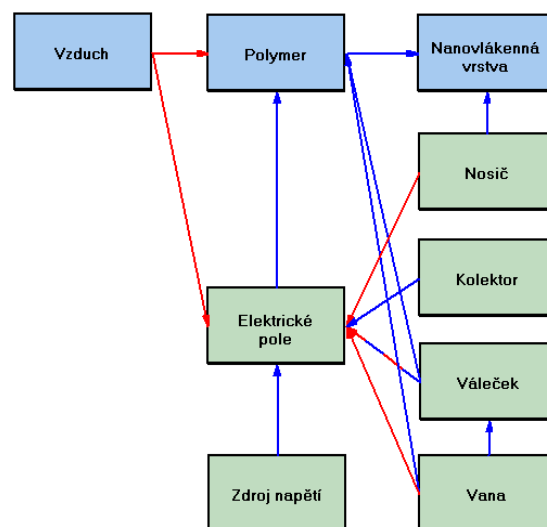
Druhým krokem funkční analýzy je analýza interakcí komponent technického systému a komponent nadsystému, jejímž výstupem je matice interakcí, ta je pro Nanospider využívající systém s nosičem zachycena na obr. 4.5. Znaménka „+“ v polích matice indikují výskyt interakce mezi komponentami Nanospideru a komponentami jeho nadsystému.

	Váleček	Vana	Elektrické pole	Zdroj napětí	Nosič	Kolektor	Polymer	Nanovlákněná vrstva	Vzduch
Váleček		+	+	-	-	-	+	-	-
Vana	+		+	-	-	-	+	-	-
Elektrické pole	+	+		+	+	+	+	-	+
Zdroj napětí	-	-	+		-	-	-	-	-
Nosič	-	-	+	-		-	-	+	-
Kolektor	-	-	+	-	-		-	-	-
Polymer	+	+	+	-	-	-		+	+
Nanovlákněná vrstva	-	-	-	-	+	-	+		-
Vzduch	-	-	+	-	-	-	+	-	

**Obr. 4.5** Matice interakcí technického systému Nanospider (systém s nosičem)

Třetí fází funkční analýzy je vytvoření modelu funkcí. Výstup modelování funkcí komponent Nanospideru pomocí SW Navigator je zachycen na obr. 4.6, tento výstup tvoří tabulka a model funkcí. Pro srovnání byl model funkcí vytvořen také v SW Goldfire Innovator, viz obr. 4.7.

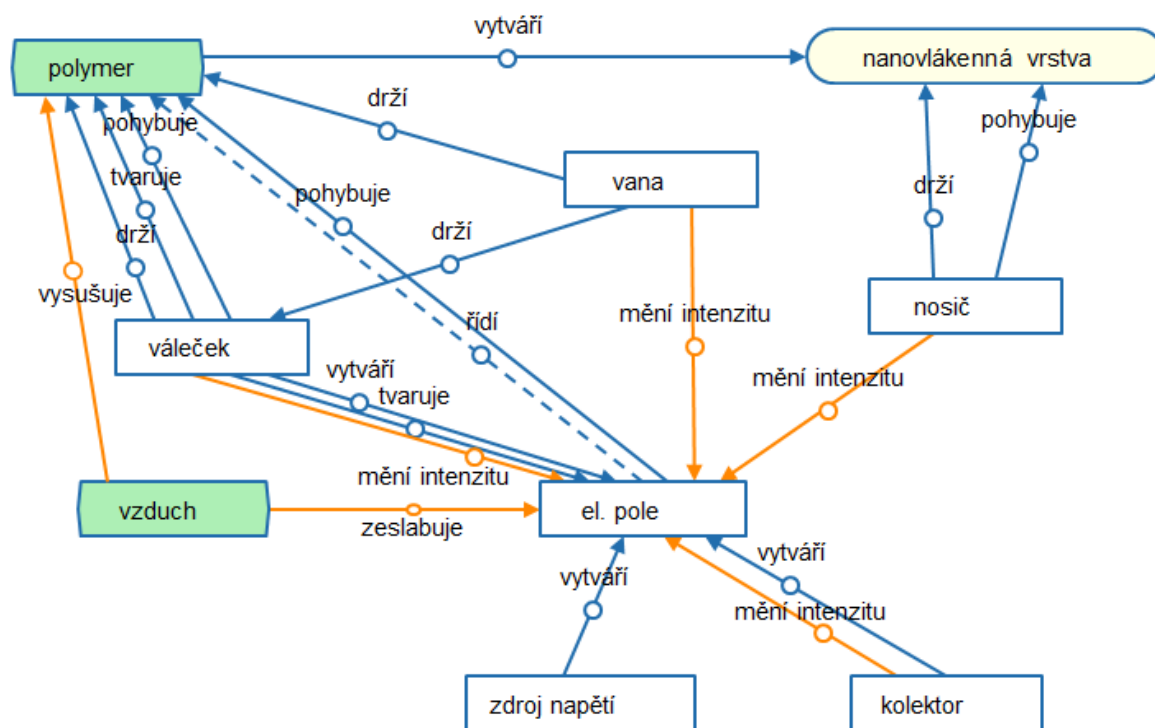
	Function carrier	Action	Object of the function	Category	Rank	Performance
<input type="checkbox"/>	Váleček	drží	Polymer	Useful	Additional	Normal
<input type="checkbox"/>		tváří	Polymer	Useful	Additional	Normal
<input type="checkbox"/>		pohybuje	Polymer	Useful	Additional	Normal
<input type="checkbox"/>		tváří	Elektrické pole	Useful	Auxiliary	Normal
<input type="checkbox"/>		mění intenzitu	Elektrické pole	Harmful		
<input type="checkbox"/>	Vana	drží	Polymer	Useful	Additional	Normal
<input type="checkbox"/>		drží	Váleček	Useful	Auxiliary	Normal
<input type="checkbox"/>		mění intenzitu	Elektrické pole	Harmful		
<input type="checkbox"/>	Elektrické pole	řídí	Polymer	Useful	Additional	Insufficient
<input type="checkbox"/>		pohybuje	Polymer	Useful	Additional	Normal
<input type="checkbox"/>	Zdroj napětí	vytváří	Elektrické pole	Useful	Auxiliary	Normal
<input type="checkbox"/>	Nosič	mění intenzitu	Elektrické pole	Harmful		
<input type="checkbox"/>		drží	Nanovlákná vrstva	Useful	Additional	Normal
<input type="checkbox"/>		pohybuje	Nanovlákná vrstva	Useful	Additional	Normal
<input type="checkbox"/>	Kolektor	vytváří	Elektrické pole	Useful	Auxiliary	Normal
<input type="checkbox"/>		mění intenzitu	Elektrické pole	Useful	Auxiliary	Normal
<input type="checkbox"/>	Polymer	vytváří	Nanovlákná vrstva	Useful	Additional	Normal
<input type="checkbox"/>	Vzduch	zeslabuje	Elektrické pole	Harmful		
<input type="checkbox"/>		vyšušuje	Polymer	Harmful		



a) tabulka funkcí

b) model funkcí

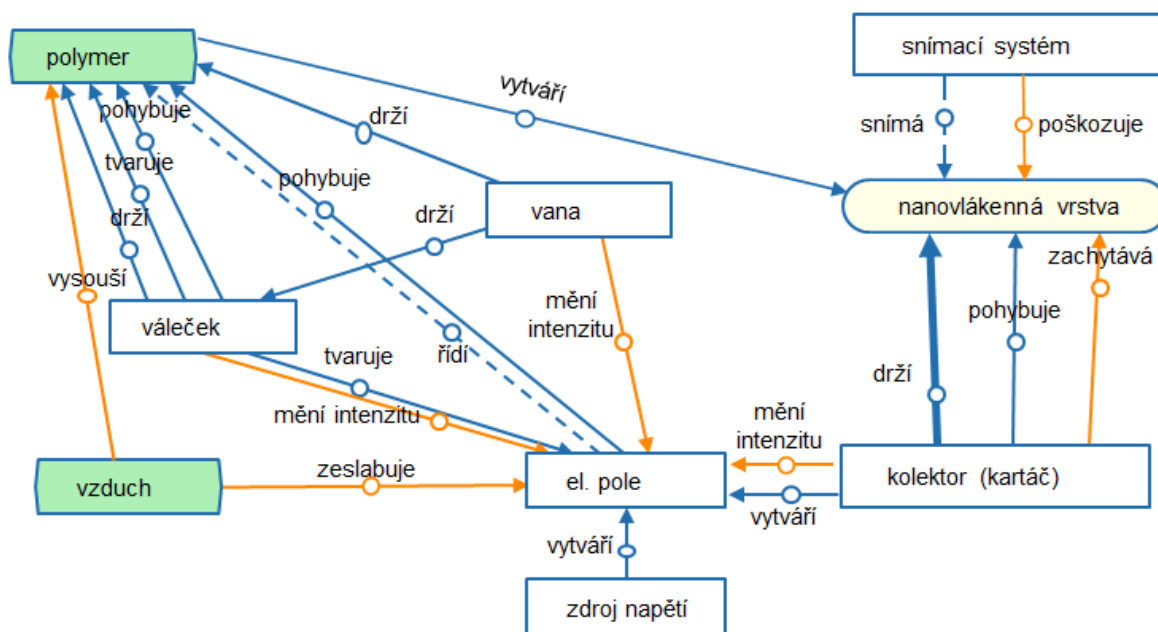
Obr. 4.6 Výstup třetí fáze funkční analýzy Nanospideru – modelování funkcí (SW Navigator)



Obr. 4.7 Model funkcí Nanospideru – systém s nosičem nanovlákné struktury (SW GFI)

### Systém s kolektorem typu kartáč

Obdobným způsobem jakým byly provedeny fáze funkční analýzy u Nanospideru s nosičem, byly provedeny také u Nanospideru s kartáčem, kde je model funkcí zachycen na obr. 4.8.



Obr. 4.8 Model funkcí – systém s kartáčem

### Výstupy z funkční analýzy

Po sestavení modelu funkcí je možno definovat seznam nežádoucích funkcí, které se vyskytují v technickém systému Nanospider. Za nežádoucí funkce považujeme funkce škodlivé, funkce užitečné – nedostatečné a funkce užitečné – nadbytečné. Pro Nanospider jsou tyto funkce shrnuty v tab. 4.1.

Tab. 4.1 Nežádoucí funkce v technickém systému Nanospider

Komponenta nesoucí funkci	Nežádoucí funkce	Klasifikace funkce (I, E, H)*	Systém (N/K)**
<b>Vana (zásobník polymeru)</b>	<b>mění intenzitu el. pole</b>	H	N, K
Nosič	mění intenzitu el. pole	H	N, K
Kolektor	mění intenzitu el. pole	H	N
<b>Váleček (zvlákňovací elektroda)</b>	<b>mění intenzitu el. pole</b>	H	N, K
Vzduch	zeslabuje intenzitu el. pole	H	N, K
	vysušuje polymer	H	N, K
El. pole	nedostatečně řídí polymer	I	N, K
<b>Kolektor - kartáč</b>	mění intenzitu el. pole	H	K
	<b>zachytává nanovláknennou vrstvu</b>	H	K
<b>Snímací systém</b>	<b>poškozuje nanovláknennou vrstvu</b>	H	K

\* ... I – insufficient (nedostatečná), E – excessive (nadbytečná), H – harmful (škodlivá)

\*\* ... N – Nanospider s nosičem nanovláknenné vrstvy, K – Nanospider s kolektorem typu kartáč

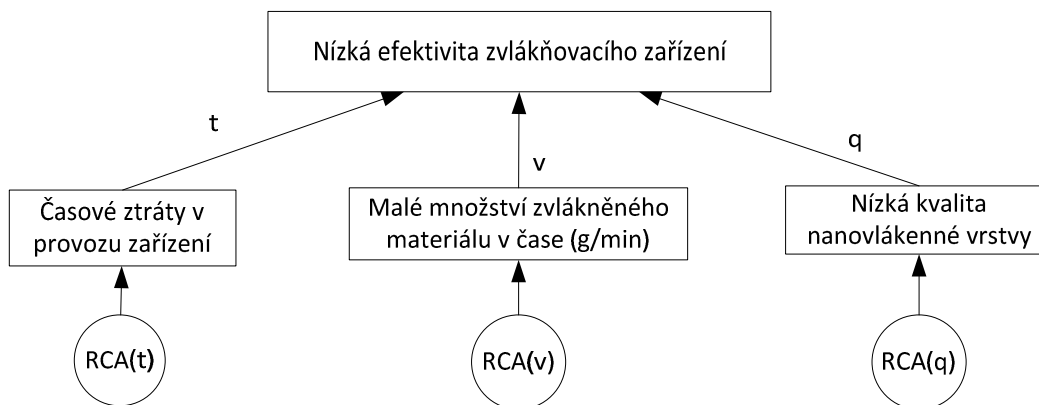
Z tab. 4.1 je patrný častý výskyt škodlivé funkce „*mění intenzitu el. pole*“. Nositelem této funkce je více komponent technického systému (vana, nosič, kolektor, váleček). Další škodlivou funkcí je zachytávání nanovlákněné vrstvy kartáčem a poškozování snímacím systémem. Tab. 4.1 nám tedy poskytuje informaci, kde hledat prostor pro inovaci technického systému.

Seznam nežádoucích funkcí technického systému, jejich nositelů i objektů funkcí tvoří výstup funkční analýzy a zároveň možný vstup pro nástroj příčinně-následkových řetězců (CECA, RCA, RCA+) v podobě nevýhod technického systému.

### 4.2.3 Identifikace kořenových příčin, či rozporů pomocí nástroje RCA+

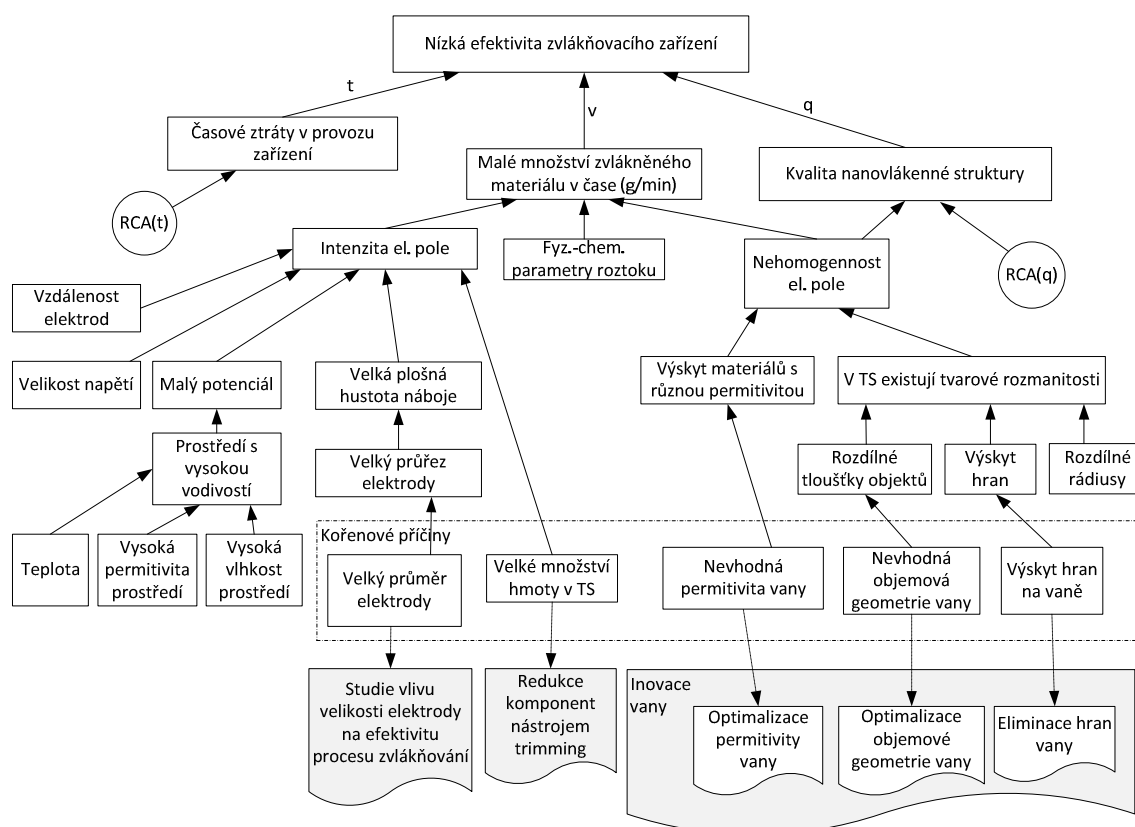
Třetím krokem navrženého algoritmu TtE je identifikace kořenových příčin, či přímo rozporů pomocí nástroje RCA+, případně modifikovaného nástroje RCA+/OEE, který vychází ze tří hlavních ztrát zařízení, resp. možných klíčových nevýhod – nízkého výkonu/rychlosti/produktivity zařízení, nízké kvality plnění hlavní funkce a nízké dostupnosti zařízení. Identifikace nositele nežádoucí funkce je pak stanovena na základě výsledků funkční analýzy. Pro případ Nanospideru budeme z hlediska efektivity uvažovat následující klíčové nevýhody:

- relativně malé množství zvlákněného materiálu v čase, resp. nízká produktivita (g/min),
- možná nízká kvalita nanovlákněné vrstvy,
- možná nízká dostupnost zařízení, viz obr. 4.9.



**Obr. 4.9** Klíčové nevýhody Nanospideru z hlediska jeho efektivity

Tyto 3 klíčové nevýhody byly dále rozvinuty do 3 příčinně-následkových řetězců RCA(v), RCA(q), RCA(t). Příčinně-následkový řetězec, hledající kořenové příčiny relativně malého množství zvlákněného materiálu v čase, resp. produktivity je zachycen na obr. 4.11.



**Obr. 4.10** Příčinně-následkový řetězec RCA(v) technického systému Nanospider

Prostřednictvím řetězce byly identifikovány následující kořenové příčiny relativně nízké produktivity zařízení:

- nevhodná permitivita vany (zásobníku polymeru),
- nevhodná objemová geometrie vany,
- výskyt hran na vaně,
- velký průměr zvlákňovací elektrody,
- velké množství hmoty v technickém systému,
- vysoká permitivita prostředí,
- vysoká vlhkost prostředí atd.

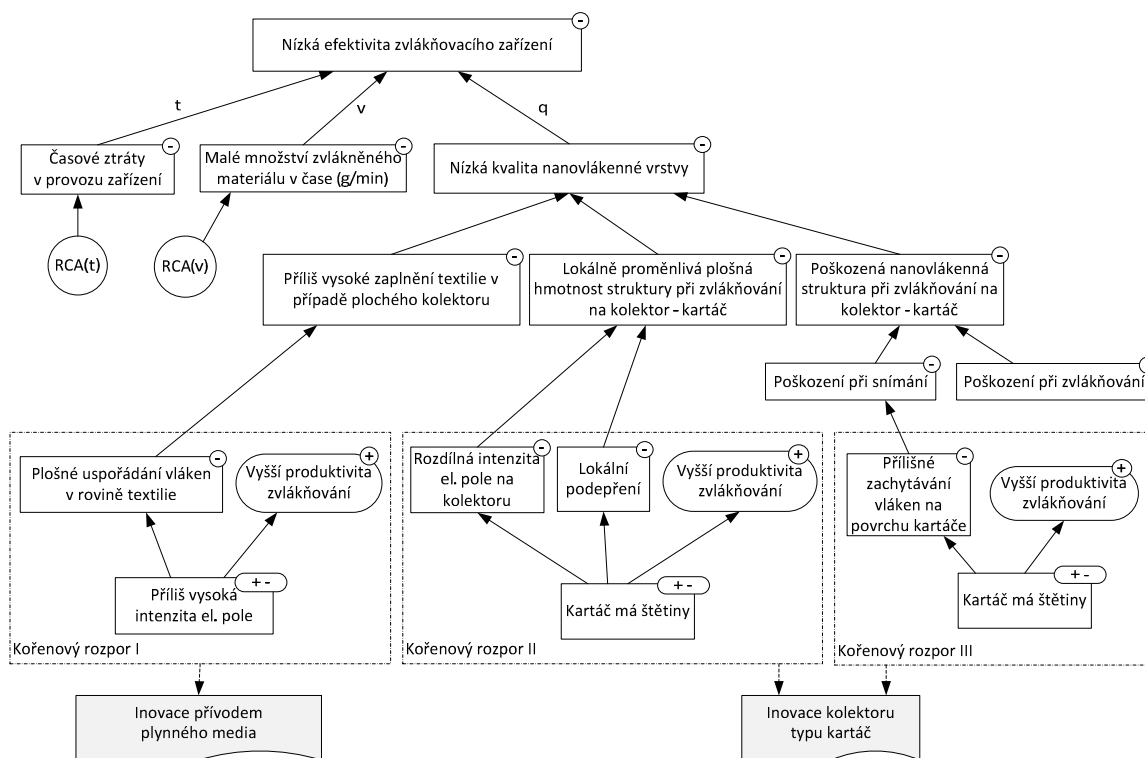
Způsob odstranění prvních třech výše uvedených klíčových nevýhod týkajících se komponenty technického systému vana pomocí nástrojů TfE je popsán v **podkapitole 4.3 Inovace zásobníku polymerního roztoku**.

Vlivem velikosti elektrod na produktivitu zvlákňovacího procesu, jakožto další identifikované kořenové příčiny relativně nízké produktivity, se zabývá **podkapitola 4.4 Studie vlivu velikosti elektrod na proces zvlákňování**.

Řešení kořenové příčiny „velké množství hmoty v technickém systému“ pomocí metody nástroje trimming je věnována **podkapitola 4.7 Redukce komponent nástrojem trimming**.

Kořenové příčiny týkající se komponenty nadsystému – prostředí, kterým je vzduch a polymerní roztok v této práci řešeny nebudou.

Příčinně-následkový řetězec, hledající kořenové příčiny nízké kvality nanovlákněné vrstvy je zachycen na obr. 4.11.



**Obr. 4.11** Příčinně-následkový řetězec RCA+(q) technického systému Nanospider

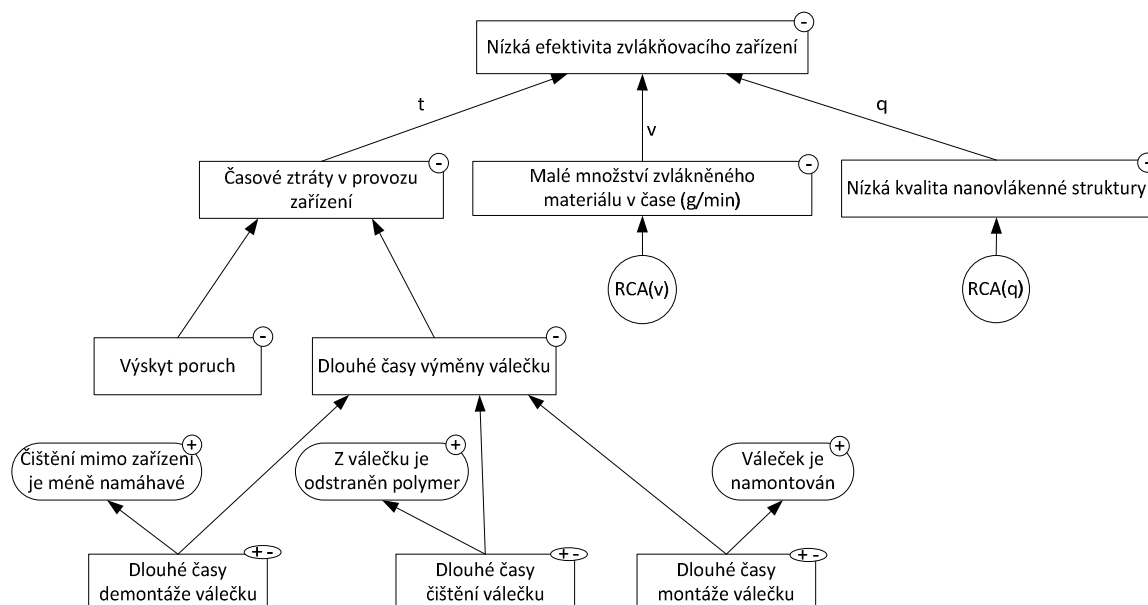
U tohoto příčinně-následkového řetězce se podařilo nalézt kořenové příčiny ve formě kořenových rozporů. Řešení kořenových rozporů oproti eliminaci prostých kořenových příčin má obecně silnější inovační potenciál. Definování kořenových rozporů vede na jiné řešitelské nástroje, nežli při definování prostých kořenových příčin, které byly definovány např. u RCA(v) (obr. 4.11).

Pomocí příčinně-následkového řetězce RCA+(q) pro technický systém Nanospider byly definovány následující kořenové fyzikální rozpory:

- kořenový rozpor I: el. pole musí mít vysokou intenzitu, aby bylo dosaženo vyšší produktivity zvlákňování a zároveň nesmí mít vysokou intenzitu, aby nedocházelo k plošnému uspořádání vláken v rovině textilie,
- kořenový rozpor II: kartáč musí mít štětiny, aby bylo dosaženo vyšší produktivity zvlákňování a zároveň nesmí mít štětiny, aby nedocházelo k lokálnímu podepření vláken a k rozdílné intenzitě el. pole na kolektoru,
- kořenový rozpor III: kartáč musí mít štětiny, aby bylo dosaženo vyšší produktivity zvlákňování a zároveň nesmí mít štětiny, aby nedocházelo k přílišnému zachytávání vláken na povrchu kartáče.

Řešení kořenového rozporu I je představeno v **podkapitole 4.5 Inovace přívodem plynného média**. Řešení kořenových rozporů II a III je představeno v **podkapitole 4.6 Inovace kolektoru typu kartáč**.

Poslední z trojice klíčových nevýhod jsou časové ztráty v provozu stroje. Příčinně-následkový řetězec, hledající kořenové příčiny časových ztrát v provozu Nanospideru je zachycen na obr. 4.12.



Obr. 4.12 Příčinně-následkový řetězec RCA+(t) technického systému Nanospider

Sestavením řetězce byly nalezeny následující fyzikální kořenové rozpory:

- čas demontáže válečku musí být dostatečně dlouhý, aby mohl být váleček demontován a následně čištěn mimo stroj a zároveň krátký, aby nebyl dlouhý čas výměny válečku,
- čas čištění válečku musí být dostatečně dlouhý, aby mohl být z válečku odstraněn polymer a zároveň krátký, aby nebyl dlouhý čas výměny válečku,
- čas montáže válečku musí být dostatečně dlouhý, aby mohl být váleček namontován a zároveň krátký, aby nebyl dlouhý čas výměny válečku.

Výše uvedené fyzikální rozpory lze řešit separačními principy, jež jsou součástí metody TRIZ, nebo využitím metod průmyslového inženýrství, např. metody pro rychlou výměnu nástrojů SMED (*Single Minute Exchange of Die*)<sup>25</sup>. Vhodným přístupem řešení kořenových příčin větve RCA+(t) se ukazuje být použití kombinace nástrojů TRIZ a nástrojů štíhlé výroby (*Lean Manufacturing*) [66, 67]. Z konstrukčního hlediska je předpokladem pro omezení ztrát v časové větvi RCA+(t) respektování zásad konstruování s ohledem na snadnou údržbu (*Design for Maintenance* - DFMt) [68].

Řešení těchto kořenových rozporů i celé větve RCA(t), jež má spíše procesní, nežli konstrukční charakter, čímž překračuje rámec této práce, uvedeno nebude. Nicméně, alespoň okrajově jsou možnosti využití nástrojů systematické kreativity v oblasti údržby strojů a zařízení představeny prostřednictvím dílčích příkladů v kapitole 5.

Správné zformulování inovačního zadání (problému) je považováno za nezbytnou podmínku úspěšného vyřešení inovační úlohy. V tuto chvíli máme pomocí funkční analýzy (FA) a příčinně-následkových řetězců RCA+/OEE zformulováno několik inovačních problémů, jejichž řešení bude představeno v následujících podkapitolách.

<sup>25</sup> Metoda SMED koresponduje s nástrojem TRIZ – trendem evoluce technických systémů – segmentace, kdy je celková činnost výměny nástroje rozdělena na elementy. Ty jsou následně rozděleny na tzv. interní činnosti, při jejichž vykonávání musí být stroj vypnut a externí činnosti, které je možno provádět za běhu stroje. Dále je maximum interních činností převedeno na činnosti externí a obě skupiny činností jsou zlepšovány (zkracovány).

### 4.3 Inovace zásobníku polymerního roztoku

V této úloze bude demonstrováno využití algoritmu TřE s přímým definováním technického rozporu, vztaženého na celý technický systém a jeho následným řešením pomocí tabulky technických rozporů a invenčních principů pro překonávání technických rozporů. Výše provedená funkční analýza nám pomůže definovat, kde, na jaké komponentě technického systému, by měl být vybraný invenční princip aplikován. Nástroje použité v této případové studii leží v algoritmu TřE (obr. 3.1) na větvi I.

#### 4.3.1 Řešení technického rozporu pomocí invenčních principů

##### 1) Definice problému

Problémem technického systému (zvlákňovacího zařízení) je jeho nízká produktivita. Problém k řešení tedy zní: „*jak zvýšit produktivitu zvlákňovacího stroje?*“

##### 2) Formulace technického rozporu ve tvaru „if-then-but“

Druhým krokem řešení technického rozporu je formulace technického rozporu ve tvaru „if-then-but“, viz tab. 4.2.

**Tab. 4.2** Formulace technického rozporu ve tvaru „if-then-but“

	<b>Technický rozpor zvyšování produktivity procesu zvlákňování</b>
<b>IF</b> (pokud)	zvýšíme elektrické napětí (což je obvyklý známý způsob zvýšení produktivity procesu zvlákňování [69, 77, 93]).
<b>THEN</b> (pak)	dojde ke zvýšení produktivity zvlákňování
<b>BUT</b> (ale)	dojde ke zvýšení spotřeby el. energie může dojít je vzniku výbojů mezi elektrodami, které dočasně rozpojí vysokonapěťový obvod

##### 3) Identifikace typických zlepšovaných a zhoršujících se parametrů dle matice technických rozporů

Třetím krokem je identifikace typických zlepšovaných a zhoršujících se parametrů dle matice technických rozporů, viz tab. 4.3.

**Tab. 4.3** Identifikace typických zlepšovaných a zhoršujících se parametrů

	<b>Specifický parametr</b>	<b>Typický parametr</b> (dle matice technických rozporů)
<b>Zlepšovaný parametr</b>	Produktivita zvlákňování	Produktivita (parametr č. 39)
<b>Zhoršující se parametr(y)</b>	Spotřeba el. energie	Energie spotřebovaná stacionárním objektem (parametr č. 20)
	Rozpojení vysokonapěťového obvodu	Spolehlivost (parametr č. 27)

##### 4) Nalezení invenčních principů pro překonání technických rozporů

Čtvrtým krokem je nalezení invenčních principů pro překonání technických rozporů v matici technických rozporů (viz příloha 3). Její část je uvedena v tab. 4.4.



Tab. 4.4 Část matice technických rozporů

	Typické zhoršující se parametry	
	27. Spolehlivost	20. Energie spotřebovaná stacionárním objektem
Zlepšovaný parametr: 39. Produktivita	Invenční principy č.: 1, 35, 10, 38	Invenční princip č.: 1

Doporučenými invenčními principy, jejichž aplikace by mohla vést k řešení technického rozporu jsou:

- **Princip č. 1 - Princip segmentace**

Tento princip doporučuje využít některého z následujících postupů:

- rozdělit objekt na nezávislé části (např. rozdělit proces do stupňů, kropička místo hadice),
- rozdělit objekt jako demontovatelný nebo odnímatelný (např. modulární nábytek, skládací rybářský prut),
- zvýšit stupeň drobení, fragmentace objektu, např. přechodem na mikroúroveň, užití částic, kapek, zrn, molekul, atomů (např. nabitě částice pohybují vzduchem místo lopatek ventilátoru).

- **Princip č. 35 - Princip změny fyzikálně chemických parametrů**

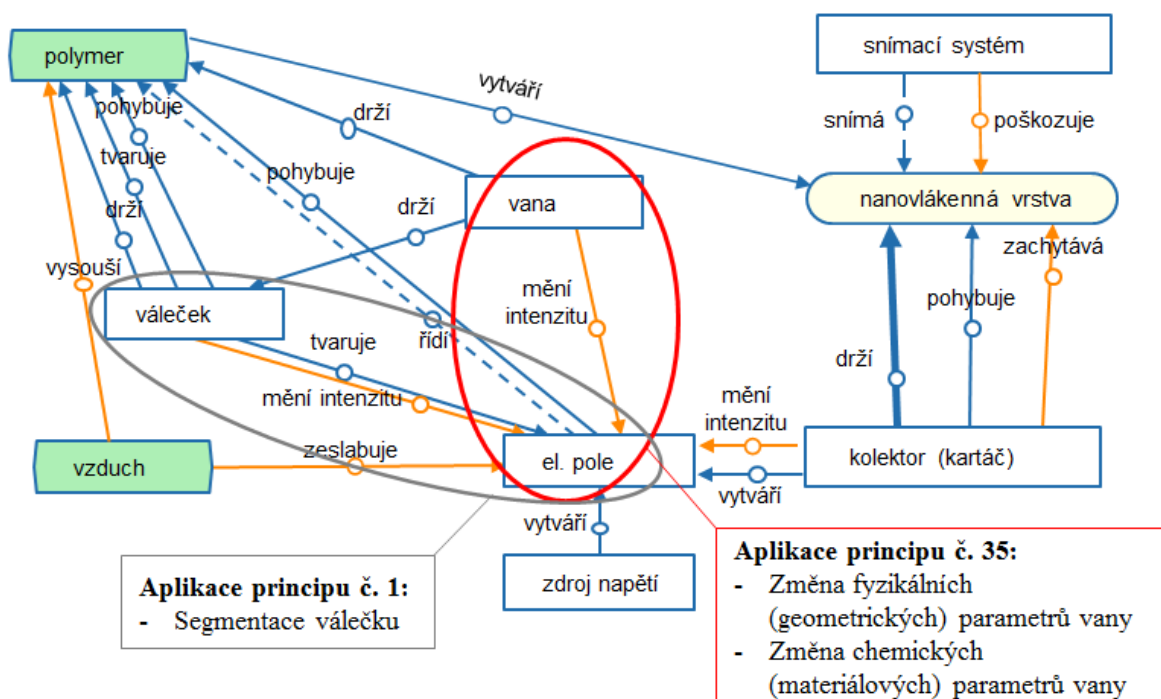
Tento princip doporučuje využít některého z následujících postupů:

- změnit fázový stav - pevný, kapalný, plynný (např. transport propan-butanu v kapalně formě),
- změnit koncentraci nebo hustotu (např. užít gel, který lze lépe roztírat),
- změnit stupeň pružnosti, elasticity (např. použít pružnější materiál pro tlumení vibrací),
- změnit teplotu, tlak a další parametry (např. teplotně závislé vlastnosti měnící viskozitu, atd.).

Dalšími doporučenými principy jsou potom Princip předběžného působení (princip č. 10) a Princip využití silných oksylichovadel (princip č. 38).

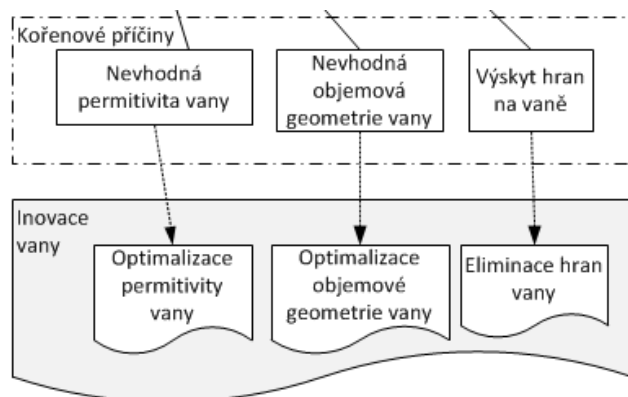
### 5) Výběr vhodného invenčního principu

Z výše uvedených doporučených principů lze vážněji uvažovat princip č. 1 – Segmentace a princip č. 35 – Změna fyzikálně chemických parametrů. Princip č. 1 byl v minulosti aplikován na komponentu technického systému – váleček. Původně hladký váleček byl rozdělen na různé segmenty a vznikla tak velká škála jeho geometrických modifikací. **Princip č. 35 – Změna fyzikálně chemických parametrů** je možno aplikovat na zásobník polymeru (vanu), který působí škodlivou funkcí na komponentu technického systému – el. pole, viz obr. 4.13.



Obr. 4.13 Aplikace invenčních principů

Vhodnost a bližší specifikaci aplikace tohoto invenčního principu na zásobník polymeru potvrzuje i provedená RCA+/OEE analýza, která poukázala na následující kořenové příčiny: nevhodná permitivita vany, nevhodná objemová geometrie vany, výskyt hran na vaně, viz obr. 4.14.



Obr. 4.14 Kořenové příčiny nízké produktivity zvláknování způsobené zásobníkem polymeru

## 6) Aplikace invenčního principu

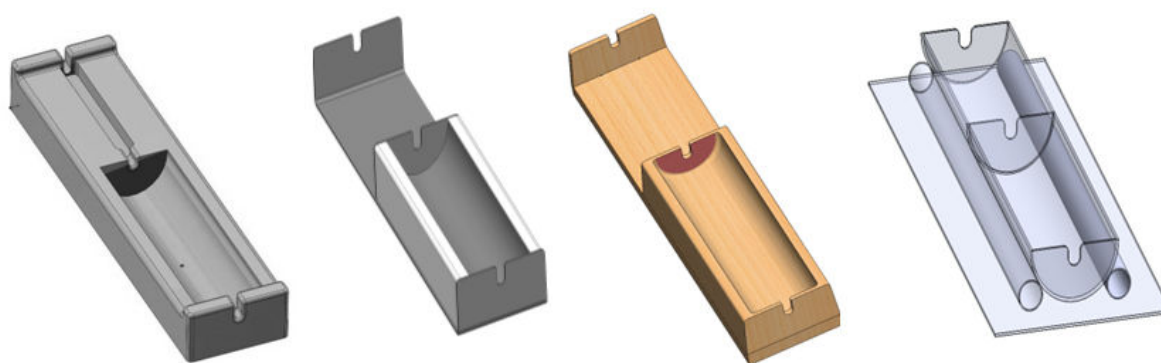
Aplikace invenčního principu č. 35 a akceptace kořenových příčin vztahujících se k zásobníku polymeru vede na následujícím doporučení změny konstrukce zásobníku:

- změna materiálu, která s sebou přinese i změnu relativní permitivity, ta ovlivňuje výsledné rozložení a velikost intenzity elektrostatického pole, které má zásadní vliv na produktivitu zvláknovacího procesu,

- optimalizace geometrie – přechod od plného k dutému objektu<sup>26</sup>,
- eliminace hran.

### 4.3.2 Inovované řešení zásobníku polymeru

S přihlédnutím k výše uvedeným doporučením lze navrhnout inovaci původního konstrukčního řešení polypropylenového (PP) zásobníku polymeru. Navrženy byly 3 inovované typy zásobníků z různých materiálů (ocel, dřevo, sklo) a různou geometrií s ohledem na jejich snadnou vyrobitelnost. Samotná konstrukční řešení zásobníků byla také navrhována s ohledem na rozměry zvlákňovací elektrody a požadovaný objem polymerního roztoku. Počítačové 3D modely konstrukčních provedení zásobníků jsou uvedeny na obr. 4.15.



a) PP zásobník (původní konstrukce)    b) ocelový zásobník    c) dřevěný zásobník    d) skleněný zásobník

**Obr. 4.15** Počítačové 3D modely navržených zásobníků polymerního roztoku

### 4.3.3 Numerická simulace metodou konečných prvků

Idea využití zásobníků z jiných materiálů a s jinou geometrií byla rozpracována metodou konečných prvků. Na základě výsledků analýzy MKP, byly zhotoveny funkční vzorky zásobníků, jejichž vlastnosti (vliv na zvlákňovací proces) byly dále ověřeny experimentálně.

Modely byly vytvořeny v MKP programu COMSOL Multiphysic. Geometrie, materiálové vlastnosti a okrajové podmínky odpovídaly skutečnému zvlákňovacímu procesu. Hlavním parametrem byla permitivita použitého materiálu zásobníku (viz tab. 4.5), dalších zahrnutých komponent technického systému (viz tab. 4.6) a přivedené napětí, které mělo hodnotu 60kV na zvlákňovací elektrodě, opačná elektroda byla uzemněna. Čas zvlákňování byl nastaven na 10 minut.

<sup>26</sup> Přechody: plný objekt – objekt s dutinou – objekt s více dutinami – porézní objekt – objekt s aditivou v porézní struktuře odpovídají trendu evoluce technických systémů (TESE) - segmentace (dle SW Goldfire Innovator se jedná o 7. trend evoluce technických systémů).

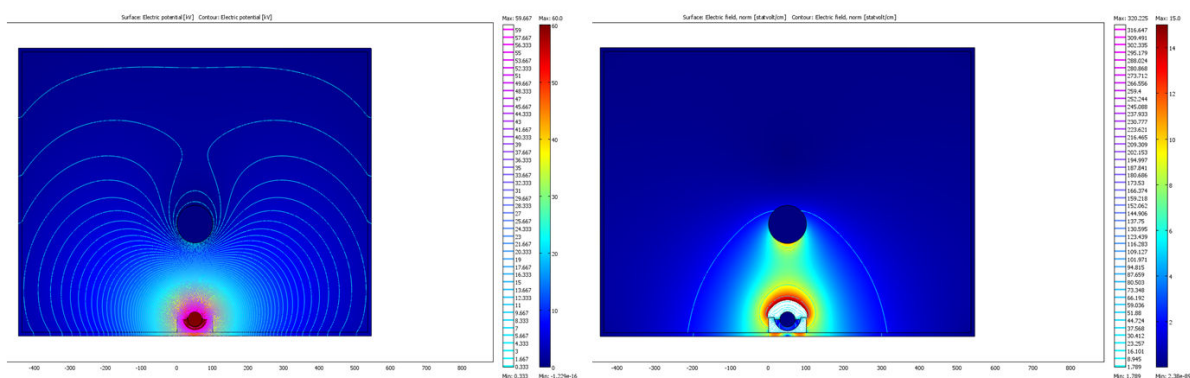
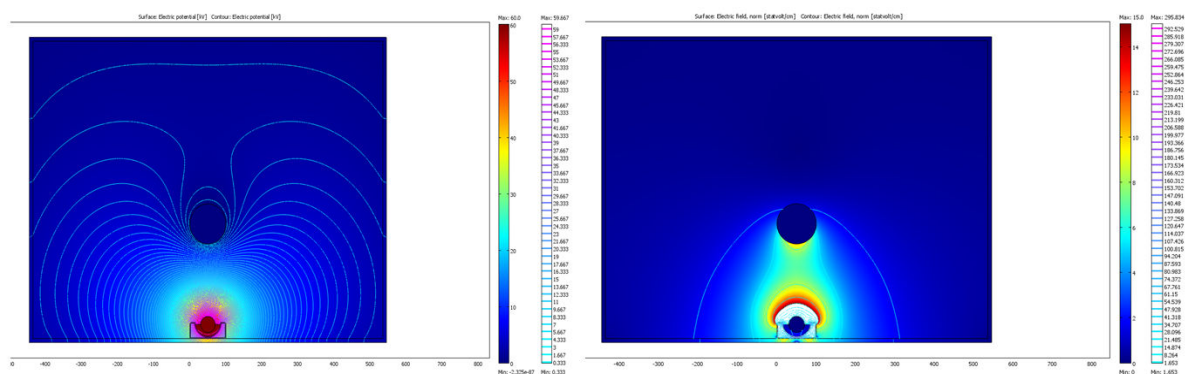
**Tab. 4.5** Relativní permitivita použitých materiálů zásobníků

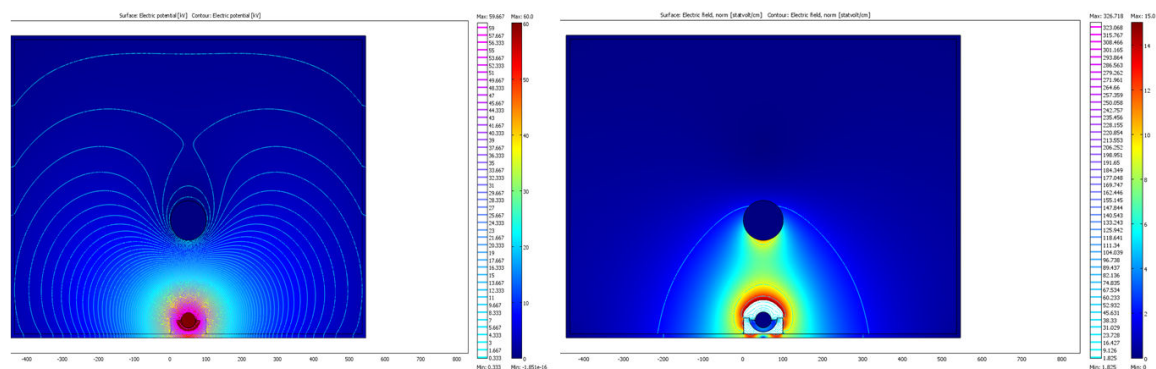
Materiál zásobníku	Relativní permitivita
Polypropylen	2,3
Ocel	1
Dřevo	4
Sklo	7

**Tab. 4.6** Relativní permitivita dalších komponent technického systému

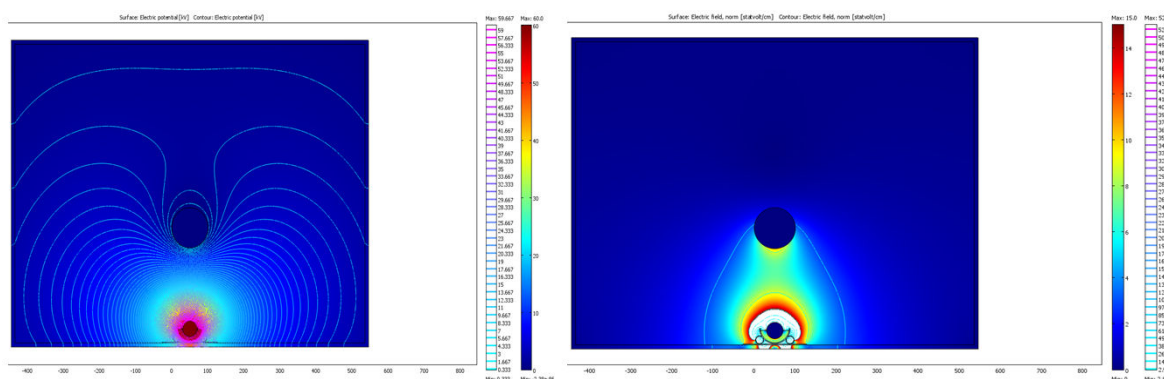
Komponenta technického systému	Relativní permitivita
Roztok polymeru	81,6
Skříň, kryt	3,5
Vnější prostředí - vzduch	1,00054

Výsledky rozložení potenciálu a intenzity elektrostatického pole pro jednotlivé zásobníky jsou uvedeny na obr. 4.15 až 4.18 a v tabulce 4.7.

**Obr. 4.15** Rozložení potenciálu a intenzity elektrostatického pole - zásobník z polypropylenu**Obr. 4.16** Rozložení potenciálu a intenzity elektrostatického pole - zásobník z oceli



Obr. 4.17 Rozložení potenciálu a intenzity elektrostatického pole - zásobník ze dřeva



Obr. 4.18 Rozložení potenciálu a intenzity elektrostatického pole - zásobník ze skla

Tab. 4.7 Výsledky analýzy MKP – intenzita el. pole dosažená při použití různých zásobníků

Druh zásobníku	Maximální intenzita el. pole (kV/cm)
polypropylen	96
ocel	89
dřevo	99
<b>sklo</b>	<b>158</b>

Z výsledků simulace je zřejmé, že velikost relativní permitivity materiálu zásobníku má významný vliv na velikost intenzity elektrostatického pole. Největší intenzity bylo dosaženo v případě zásobníku ze skla. Numerická simulace ukazuje zvýšení intenzity el. pole o 64% v případě použití skleněného zásobníku místo původního zásobníku z polypropyleny.

#### 4.3.4 Experimentální ověření

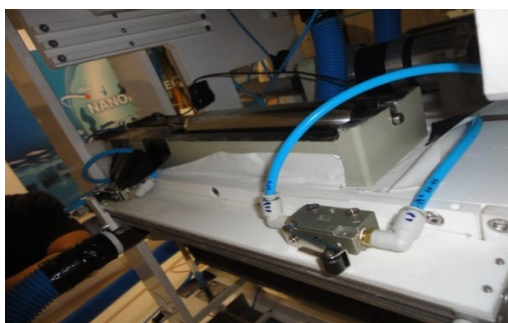
Výsledky získané pomocí numerické simulace byly ověřeny experimentálním způsobem přímo na výrobní lince společnosti Elmarco (viz obr. 4.19).

Na základě konstrukčních návrhů byly vyrobeny prototypy zásobníků polymeru a použity v reálném zvláknovacím procesu (viz obr. 4.20).

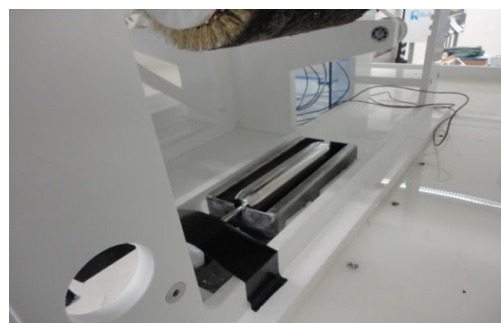




Obr. 4.19 Výrobní linka na výrobu nanovláken



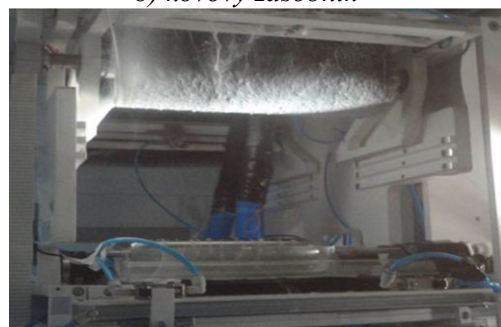
a) PP zásobník



b) kovový zásobník



c) dřevěný zásobník



d) skleněný zásobník

Obr. 4.20 Proces zvlákňování s využitím různých zásobníků polymerního roztoku

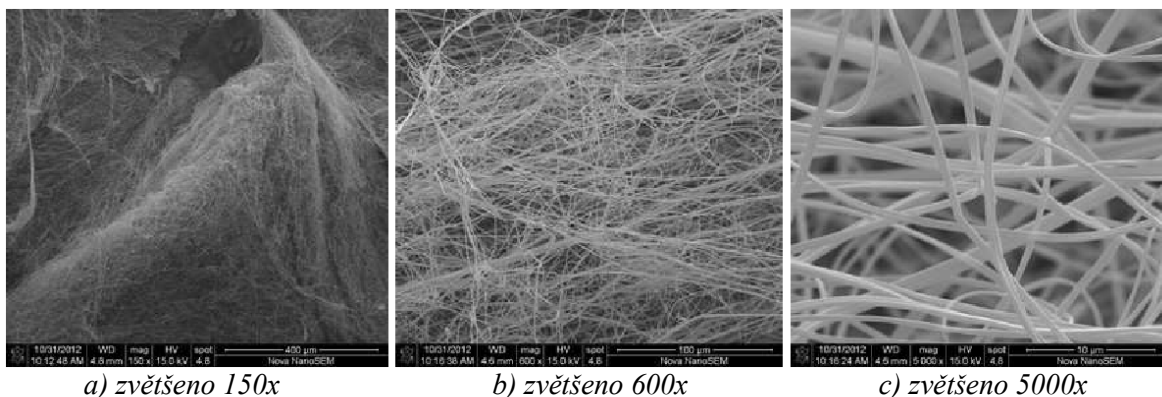
Efektivita zvlákňovacího procesu byla hodnocena jako množství polymeru (g), který byl zvlákněn za dobu 10min. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 4.8.

Tab. 4.8 Výsledky experimentu – produktivita zvlákňovacího procesu

Materiál zásobníku	Průměrná hmotnost zvlákněné struktury pro 4 rozdílné vzdálenosti elektrod (g)			
	I	II	III	IV
polypropylen	1,18±06	0,72±14	1,44±01	1,48±29
ocel	1,01±11	0,75±01	1,59±12	0,51±06
dřevo	1,35±19	1,45±05	0,89±07	1,47±22
sklo	1,58±3	2,08±07	2,39±12	1,82±14

Z experimentálních výsledků je zřejmé, že relativní permitivita materiálu a konstrukční řešení zásobníku má významný vliv na produktivitu procesu. Nejnížší produktivitu vykazuje zásobník vyrobený z oceli, dále polypropylen, který je standardně využívaný

pro výrobu zásobníků a pak dřevěná nádoba. Naopak nejvyšší produkce bylo dosahováno v případě použití zásobníku ze skla. Experimentální výsledky se shodují s výsledky, které byly získány pomocí numerické simulace metodou konečných prvků. SEM snímky nanovláknenné struktury jsou zachyceny na obr. 4.21.



Obr. 4.21 SEM snímky nanovláknenné struktury

#### 4.3.5 Závěr z úlohy inovace zásobníku roztoku polymeru

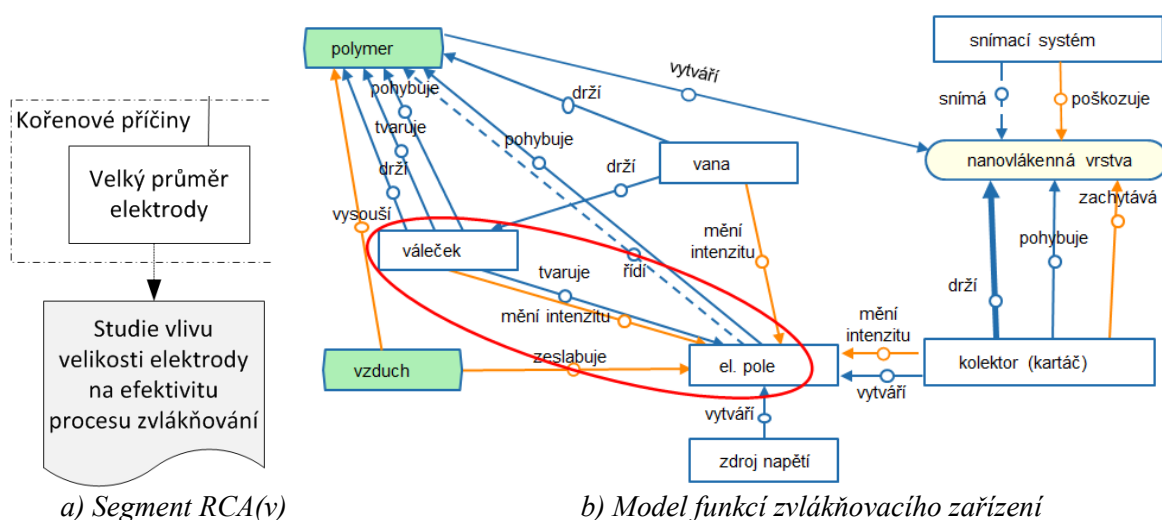
Realizovaná **úloha demonstrovala použití navržené metody TtE**, kdy byl nejprve pomocí funkční analýzy (FA) odhalen vliv zásobníku polymeru na proces zvlákňování. Následně byl definován technický rozpor, který byl řešen pomocí tabulky technických rozporů. Ta ukázala na vhodnost využití invenčního principu č. 35 - Princip změny fyzikálně chemických parametrů. Princip byl realizován změnou materiálu a geometrie zásobníku polymeru. Konstrukční návrh byl rozpracován numericky metodou konečných prvků a poté ověřen experimentálním způsobem.

**Úloha přináší také specifické poznatky ze zvyšování efektivity zařízení na výrobu nanovláken.** Z výsledků je zřejmé, že relativní permitivita materiálu a konstrukční řešení geometrie zásobníku má významný vliv na produktivitu výrobního procesu. Nejnižší produktivitu vykazuje nádoba vyrobená z oceli, dále polypropylenu, který je standardně využíván pro výrobu zásobníku a pak dřevěná nádoba. Naopak nejvyšší produkce nanovláken bylo dosaženo při použití zásobníku ze skla. Lze tedy konstatovat, že intenzita elektrostatického pole je rozhodující pro produktivitu elektrostatického zvlákňování a že permitivita a množství materiálu v technickém systému má na tento proces významný vliv [70-73].

#### 4.4 Studie vlivu velikosti zvlákňovací elektrody na proces zvlákňování

Z provedené funkční analýzy, popsané v podkapitole 4.2 je zřejmý vliv zvlákňovací elektrody na intenzitu el. pole a tím i produktivitu zvlákňovacího procesu. Také příčinně-následkový řetězec RCA(v), též uvedený v podkapitole 4.2, obsahuje kořenovou příčinu nízké produktivity zvlákňovacího procesu „velký průměr elektrody“. Výstupy fáze identifikace problému související se zvlákňovací elektrodou jsou shrnuty na obr. 4.22.

V této podkapitole bude představena studie zabývající se vlivem velikosti zvlákňovací elektrody na produktivitu procesu zvlákňování s cílem nalézt optimální konstrukční provedení zvlákňovací elektrody. **Tato studie** je zde uváděna především z důvodu přispění k naplnění druhého cíle této práce, tedy **poskytnutí specifických poznatků ze zvyšování efektivity zařízení na výrobu nanovláken**, konkrétně vlivu zvlákňovací elektrody na proces zvlákňování.



**Obr. 4.22** Výstup fáze identifikace problému poukazující na vliv průměru elektrody na proces zvlákňování

##### Matematicko-fyzikální popis problému

Obecný popis rozložení el. pole v procesu elektrostatického zvlákňování vytvořeného mezi dvěma tvarově rozmanitými elektrodami je prakticky nemožný, protože geometrie elektrod ovlivňuje velikost elektrostatického pole. Teorie el.-stat. pole popisuje, že se mezi dvěma opačně nabitými elektrodami vyskytuje elektrické pole s určitou hodnotou intenzity elektrického pole. Ta může být obecně definována jako limitní síla působící na jednotkový náboj, viz vztah (4.13).

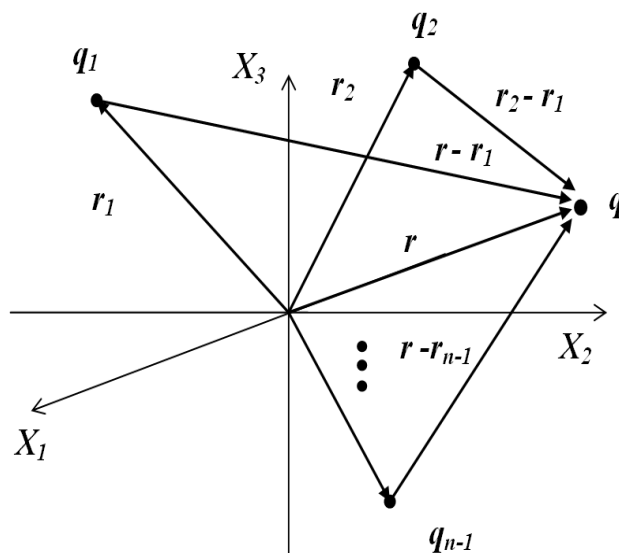
Elektrostatická pole jsou statická (časově neměnná) elektrická pole vytvořená statickou (stacionární) distribucí náboje. Matematická definice elektrostatického pole je odvozena od Coulombova zákona, který definuje vektor síly mezi dvěma bodovými náboji. Na povrchu elektrody může být vytvořen bodový náboj, nebo pole bodových nábojů (viz obr. 4.23), to lze matematicky popsat rovnicí (4.14). Ze vztahu vyplývá nepřímá úměra síly, resp. intenzity el. pole a plochy elektrody.

$$\vec{E} = \lim_{q \rightarrow 0} \frac{\vec{F}}{q} \quad (4.13)$$



$$\vec{F} = \frac{q \cdot q_1 \cdot (\mathbf{r} - \mathbf{r}_1)}{4\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot |\mathbf{r} - \mathbf{r}_1|^3} + \frac{q \cdot q_2 \cdot (\mathbf{r} - \mathbf{r}_2)}{4\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot |\mathbf{r} - \mathbf{r}_2|^3} + \dots + \frac{q \cdot q_{n-1} \cdot (\mathbf{r} - \mathbf{r}_{n-1})}{4\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot |\mathbf{r} - \mathbf{r}_{n-1}|^3} = \frac{q}{4\pi \cdot \varepsilon_0} \sum_{k=1}^{n-1} q_k \frac{(\mathbf{r} - \mathbf{r}_k)}{|\mathbf{r} - \mathbf{r}_k|^3} \quad (4.14)$$

Kde  $\vec{E}$  představuje intenzitu el. pole,  $\vec{F}$  je působící síla,  $q$  je bodový náboj,  $\varepsilon_0$  permitivita vakua ( $\varepsilon_0 = 8,854187817 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$ ),  $\mathbf{r}, \mathbf{r}_i$  představují vektory určující polohy bodových nábojů v prostoru.

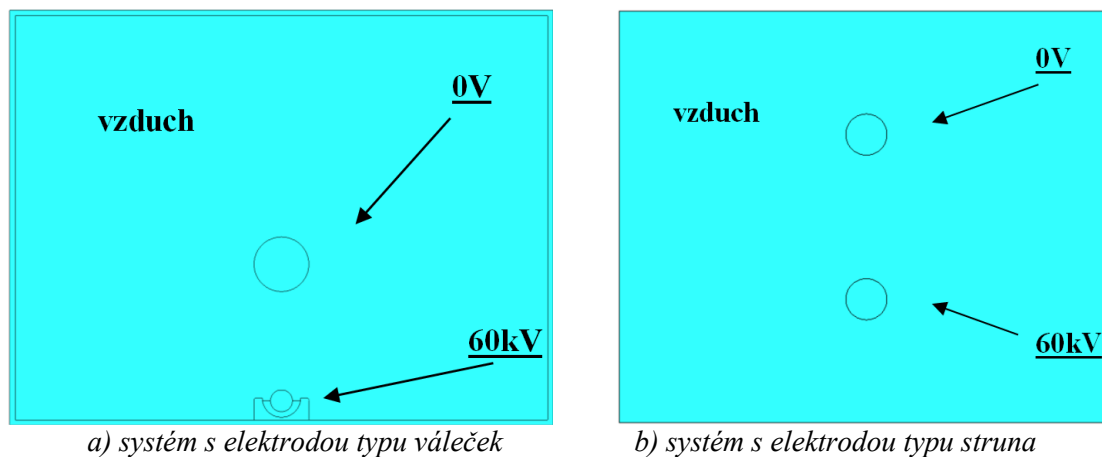


Obr. 4.23 Rozmístění nábojů v el.-stat. poli

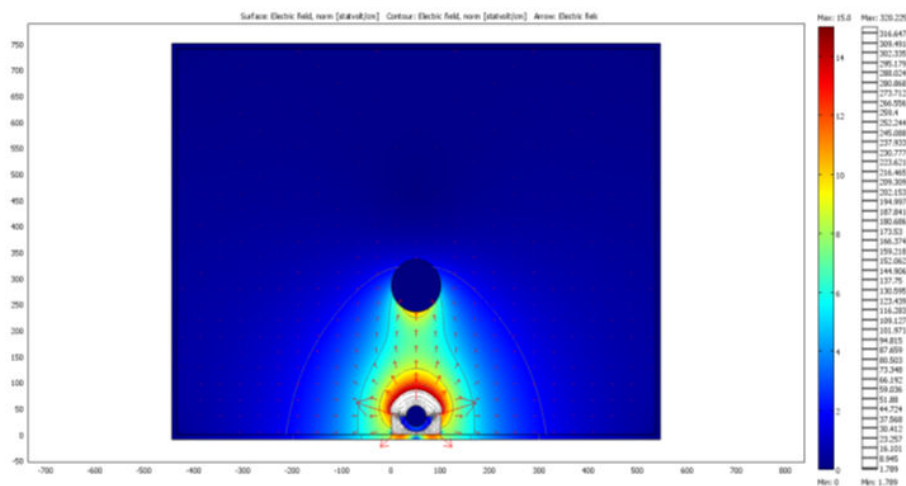
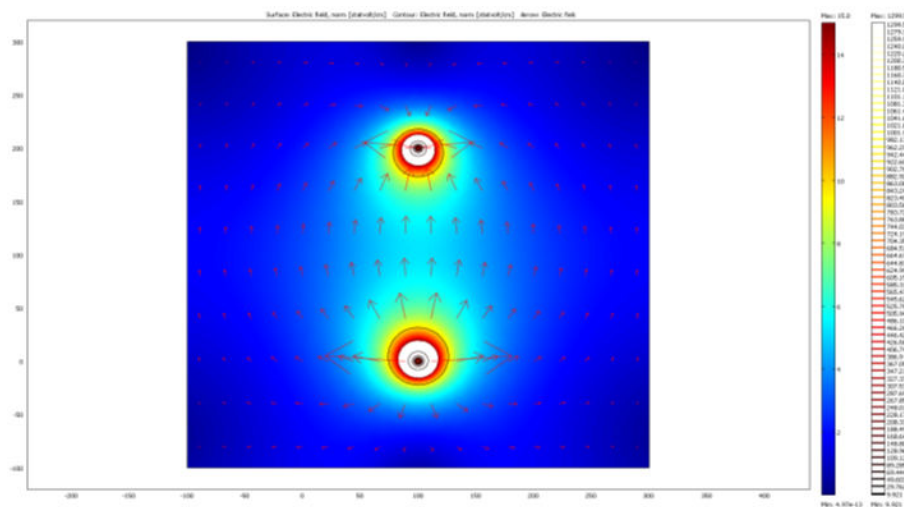
#### 4.4.1 Numerická simulace metodou konečných prvků

Měření rozložení potenciálu el. pole je během procesu elektrostatického zvlákňování na Nanospideru velmi obtížně měřitelné. Z toho důvodu byla použita numerická simulace MKP [74]. Model MKP obsahuje elektrody, polymer, zásobník polymeru a vnější prostředí.

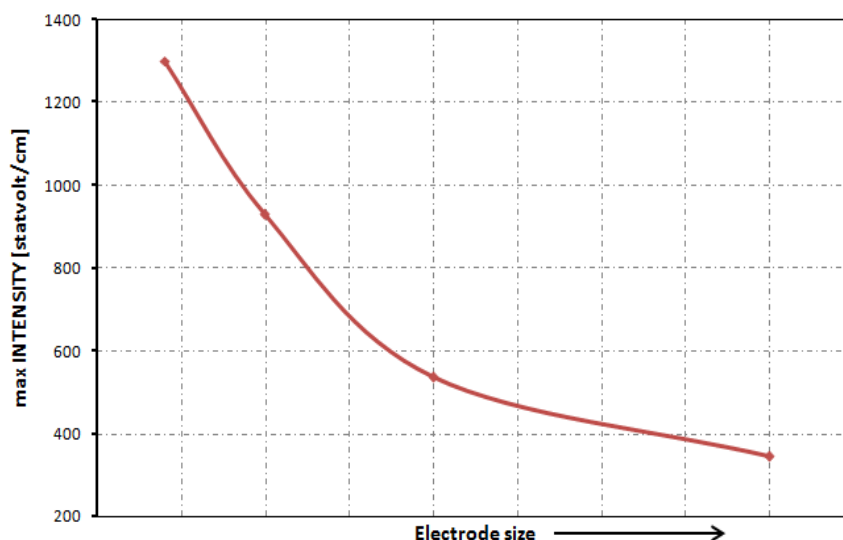
MKP modely technického systému s elektrodou typu váleček i struna (viz obr. 4.24) byly vytvořeny v programu Comsol Multiphysics v modulu AC/DC Electrostatics, který je zaměřen na modelování elektrických polí v piezoelektrických materiálech. Tento software obsahuje širokou škálu nástrojů pro řešení různých problémů popsanych parciálními diferenciálními rovnicemi metodou konečných prvků (v izotropních i anizotropních prostředích). To umožňuje modelování vektoru rozdělení elektrostatického potenciálu a pro stanovení přibližné intenzity napětí. Rozložení potenciálu a intenzity el. pole může být studováno v iso-plochách, proto byly zhotoveny 2D modely technického systému v rovině kolmé na osu elektrod. Na kladné elektrodě bylo zadáno napětí 60 kV a na opačné elektrodě napětí 0 kV. Model byl navržen s adaptivní sítí s důrazem na místní zhuštění prvků. Sít' konečných prvků byla vytvořena z čtvercových osově symetrických prvků. Pro dostatečně přesné řešení v geometricky komplikovaných oblastech (rádiusy, hrany) a oblastech s předpokládaným výskytem nejvyšší intenzity byla volena velikost elementů 0,03 mm.


**Obr. 4.24** MKP modely

Rozložení intenzity elektrostatičkého pole je pomocí analýzy MKP zachyceno pro systém s elektrodou typu váleček na obr. 4.23 a pro systém s elektrodou typu struna na obr. 4.24.


**Obr. 4.23** Intenzita el. pole – systém s válečkem – simulace MKP

**Obr. 4.24** Intenzita el. pole – systém se strunou – simulace MKP

Výsledky získané numerickou simulací ukázaly, že se snižujícím se průměrem elektrody dochází ke zvyšování intenzity elektrostatického pole (viz obr. 4.25), což potvrzuje teorii bodového náboje. Simulace ukázala hodnotu maximální intenzity el. pole na válečku 96 kV/cm a 389,6 kV/cm na elektrodě typu struna, viz tab. 4.9.



Obr. 4.25 Zjištěná závislost intenzity el. pole na velikosti (průměru) [74]

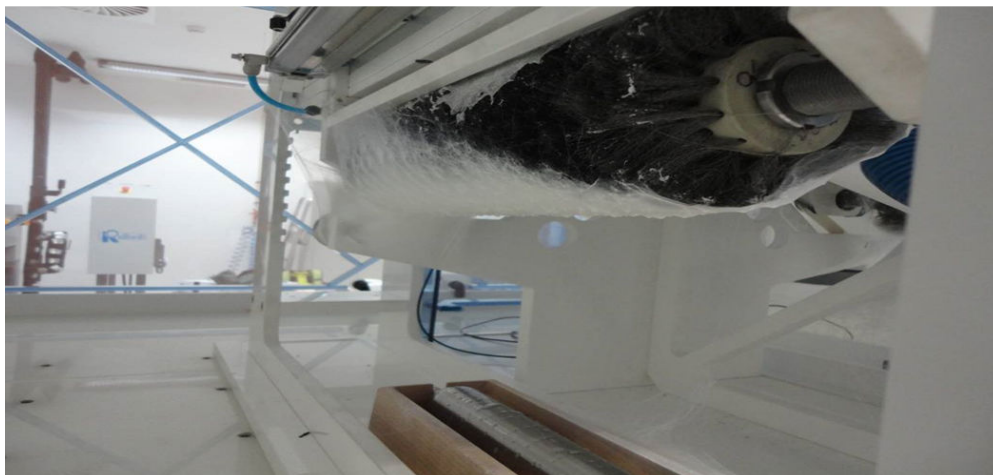
Tab. 4.9 Výsledky simulace MKP – maximální intenzita elektrického pole při použití válečku a struny

Typ elektrody	MKP model - maximální intenzita el. pole (kV/cm)
Váleček	96
Struna	389,6

#### 4.4.2 Experimentální měření

Experimentální měření bylo provedeno na výrobní lince ve společnosti Elmarco. Testy byly prováděny v průběhu procesu zvlákňování s napětím  $60 \pm 0,5$  kV, proudem 5 mA, vlhkostí  $17,5 \pm 2\%$  a při teplotě  $22,6 \pm 2$  °C po dobu 10 min. Testovány byly dva typy elektrod – váleček a struna:

- **Elektroda typu váleček** (viz obr. 4.26) – rotující válcová elektroda využívající základní princip Nanospideru založeném na zvlákňování z volné plochy roztoku polymeru, který vytváří tenký film na povrchu rotujícího válečku
- **Elektroda typu struna** (viz obr. 4.27) – statická elektroda (struna), zvlákňovací proces je založen na nanášení přesně definovaného množství roztoku polymeru na strunu pomocí nanášecí hlavy.



**Obr. 4.26** Měření intenzity el. pole na technickém systému s elektrodou typu váleček

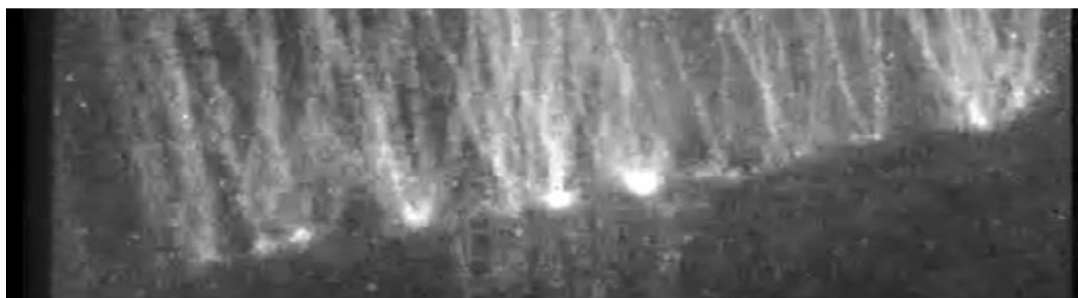


**Obr. 4.27** Měření intenzity el. pole na technickém systému s elektrodou typu struna

Zvlákňovací proces byl snímán corokamerou. Vyhodnocována byla kvantita výskytu Taylorových kuželů. Na obr. 4.28 je zachycen výskyt Taylorových kuželů na elektrodě typu váleček. Na obr. 4.29 je zachycen výskyt Taylorových kuželů na elektrodě typu struna, kde vznikající nanovlákná připomínají blesk elektrického výboje.



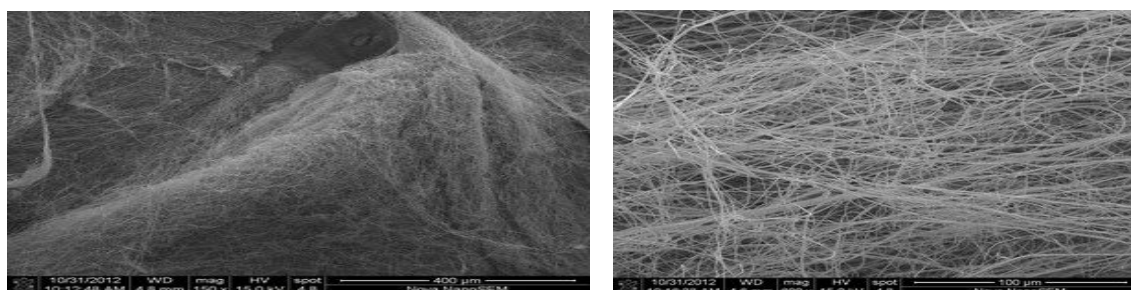
**Obr. 4.28** Snímek pořízený corokamerou – výskyt Taylorových kuželů na válečku



**Obr. 4.29** Snímek pořízený corokamerou – výskyt Taylorových kuželů na struně

V případě elektrody typu váleček je viditelný malý počet míst, na kterých vzniká Taylorův kužel. V případě struny je počet míst s výskytem Taylorova kuželu podstatně vyšší. Tato experimentální zjištění odpovídají výsledkům numerické simulace, která ukázala přibližně 4 krát vyšší intenzitu na elektrodě typu struna [74-76].

Získaná nanovláknenná struktura zvlákněná z roztoku PVP (TiO<sub>2</sub>) zvětšená mikroskopem Nova NanoSEM jsou zachycena na obr. 4.30.



**Obr. 4.30** SEM snímky zvlákněné nanostruktury

#### 4.4.3 Závěr studie vlivu velikosti elektrod na produktivitu zvláknování

Studie poskytuje především specifické poznatky vlivu velikosti elektrod na produktivitu procesu zvláknování. Vedle specifických poznatků je demonstrována možnost využití metody TFe k identifikaci problému, konkrétně nástrojů funkční analýza (FA) a příčinně následkového řetězce RCA+/OEE, pomocí které lze definovat kořenovou příčinu nízké produktivity zvláknování. Následně byla provedena numerická analýza, která byla porovnána s experimentálními měřeními prováděnými na výrobních linkách společnosti Elmarco. Výsledky ukazují, že rozložení intenzity elektrostatického pole ovlivňuje výslednou produktivitu výroby nanovláken. Intenzita elektrického pole je ovlivněna průměrem elektrody. Z výsledků je zřejmá nepřímá úměrná závislost mezi průměrem elektrody a intenzitou elektrostatického pole. Nejvyšší intenzity pole by teoreticky bylo dosaženo s průměrem elektrody blízkým nule. V reálném konstrukčním provedení je mimo maximální intenzity pole nutno počítat také s požadovanými mechanickými vlastnostmi struny a to především pevností, která je nezbytná pro požadované předepnutí struny. Průměr struny také ovlivňuje tvorbu polymerního filmu. Nevhodný průměr drátu vede k nestabilitě procesu zapříčiněné vznikem kapek místo rovnoměrné vrstvy polymerního filmu. Kapky polymeru pak snižují produktivitu stroje. Pro konstrukční provedení se ukázal být vyhovující nerezový řezný drát průměru 0,2mm [74-76].

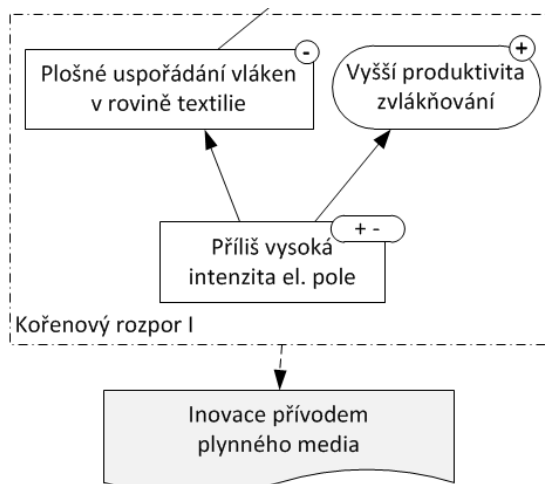
## 4.5 Inovace přívodem plynného média

V této úloze bude demonstrováno využití algoritmu TřE pomocí nástrojů funkční analýza, RCA+(q), řešení fyzikálního rozporu pomocí separačních principů, rozpracování idey MKP a experimentální ověření. Nástroje použité v této úloze leží v algoritmu TřE (obr. 3.1) na větvi II. Vedle demonstrace využití algoritmu TřE úloha poskytuje specifické závěry z oblasti zvyšování efektivity zvláknovacího zařízení.

### 4.5.1 Řešení fyzikálního rozporu separací v čase

#### Popis problému

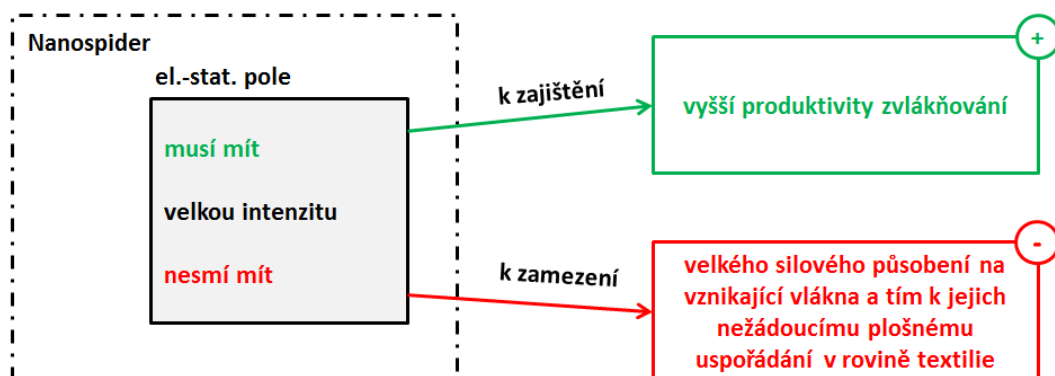
Příčinně-následkový řetězec RCA+(q), uvedený v podkapitole 4.2, obsahuje kořenový fyzikální rozpor, viz obr. 4.31. Tento fyzikální rozpor je dán protichůdným požadavkem na velikost intenzity el. pole.



Obr. 4.31 Výstup analýzy RCA+ ve formě kořenového rozporu

#### Fyzikální rozpor

Intenzita el.-stat. pole **má být velká**, aby bylo dosaženo vyšší produktivity zvláknování **a zároveň malá**, aby bylo nedocházelo k velkému silovému působení na vznikající vlákna a tím k jejich nežádoucímu plošnému uspořádání v rovině textlie, ke kterému dochází na kolektoru (sběrné elektrodě), resp. nosiči (obr. 4.32).



Obr. 4.32 Model fyzikálního rozporu v komponentě el.-stat. pole

Pro řešení fyzikálních rozporů jsou využívány tzv. separační principy:

- separace v čase,
- separace v prostoru,
- separace na fázové úrovni,
- přesunem v systémové úrovni (přesunem do pod- nebo nad- systému).


#### Definování fyzikálního rozporu s využitím separačního principu separace v čase

Zvlákňovací síla musí být v čase  $t_1$  (okamžik tvorby Taylorova kuželu) **velká**, aby docházelo ke zvlákňování a síla musí být v čase  $t_2$  (okamžik dopadu vlákna na kolektor) **malá**, aby nedocházelo k plošnému uspořádání vláken v rovině textilie (resp. plochy kolektoru).

**Požadavek** na velikost síly je tedy **různý v čase** z toho důvodu bude fyzikální rozpor řešen **separací v čase**. Pro řešení fyzikálního rozporu separací v čase jsou doporučovány invenční principy:

- 9 – princip předběžného anti-působení (*Preliminary Anti-Action*),
- 10 – princip předběžného působení (*Preliminary Action*),
- 11 – princip "předem podložená poduška" (*Beforehand Cushioning*),
- 15 – princip dynamičnosti (*Dynamics, Dynamization*),
- 16 – princip částečného nebo nadbytečného působení (*Partial or Excessive Action*),
- 18 – princip využití mechanických kmitů (*Mechanical Vibration*),
- 19 – princip periodického působení (*Periodic Action*),
- 20 – princip plynulosti užitečného působení (*Continuity of Useful Action*),
- 21 – princip přeskočení (*Skipping*), viz tab. 3.8 i obr. 4.33.

**Solution: Separation :: in time**



separate contradictory requirements in time:

- in Time 1, the object has a parameter value **A**
- in Time 2, the object has a parameter value **not-A**

You can use the following Principles:

9 - Preliminary counteraction	18 - Mechanical vibration
10 - Preliminary action	19 - Periodic action
11 - Beforehand compensation	20 - Continuity of useful action
15 - Dynamic parts	21 - Hurrying
16 - Partial or excessive actions	

**Obr. 4.33** Návod k řešení fyzikálního rozporu separací v čase (SW GFI)

První<sup>27</sup> z doporučovaných invenčních principů je princip č. 9 - **Principu předběžného anti-působení** (*Preliminary Anti-Action*), který říká:

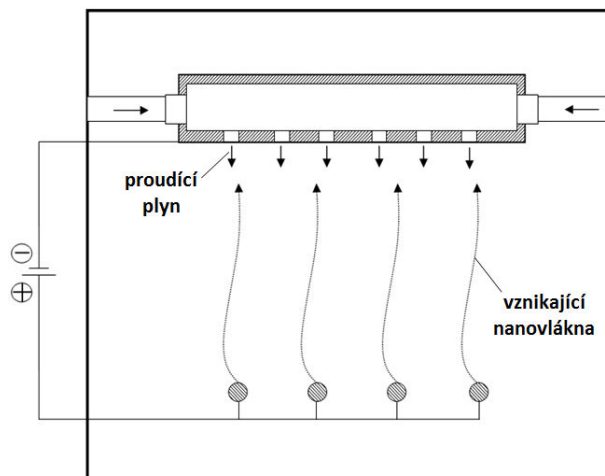
<sup>27</sup> Pořadí doporučení značí preferenci a pravděpodobnost vhodnosti využití invenčního principu. Ta byla zjištěna Altshullerovými následovníky rozбором mnoha set tisíců patentů.



- „jestliže činnost vyvolává užitečné a škodlivé působení, vykonat opačnou činnost předem, aby se snížilo škodlivé působení (např. předběžné chladit objekt, aby se při práci nepřehřál),
- předem provést takové změny objektu, které zabezpečí, že nedojde k nepřipustným změnám, namáhání při provozu (např. ocelové dráty použité v předepjatém betonu)“.

Vhodným principem se jeví být **princip č. 9 - Principu předběžného anti-působení**. Tento princip nám říká, že dosáhneme **velké síly v čase  $t_1$  a zároveň malé síly v čase  $t_2$**  pokud budeme **nějakým způsobem v čase  $t_2$  působit proti zvlákňující síle**. Možným způsobem takového proti působení je **např. foukání plynného média proti směru zvlákňování**. Tento koncept byl rozpracován a analyzován pomocí MKP a ověřen experimentálně [77].

Realizaci invenčního principu č. 9 – předběžné anti-působení lze při procesu elektrostatického zvlákňování provést foukáním plynného média ze sběrné elektrody proti směru pohybu vytvořených nanovláken. Schéma takového řešení je znázorněno na obr. 4.34.



**Obr. 4.34** Princip elektrostatického zvlákňování s využitím proudícího plynného média [77]

#### 4.5.2 Optimalizace metodou konečných prvků

Idea byla dále rozpracována MKP, ta byla použita z důvodu omezených možností experimentálních měření mechanických vlastností vzorků 3D nanostruktur, které spočívají především v obtížném stanovení průběhu deformace a silové odezvy v materiálové struktuře. To je dáno omezenými možnostmi umístění snímačů a také tím, že některé vlastnosti nelze dobře měřit (např. rozložení hlavního napětí a deformace v porézní nanostruktuře). Znalost rozložení hlavních přetvoření ve struktuře je důležitá zejména **pro optimalizaci kolektoru** přivádějící plynné médium. Pomocí těchto znalostí by se dalo posoudit, jak se nově vznikající struktura v určitém časovém okamžiku přetváří a při jakém silovém působení. V této úloze byl pro modelové simulace MKP použit program Comsol Multiphysics s modulem AC/DC Electrostatics, který je zaměřen na modelování proudění vzduchu a kapalin.



**Matematicko-fyzikální popis řešeného problému [77]**

Silové působení proti pohybu nanovláken, které lze v elektrostatickém poli uvažovat a dobře regulovat bude mít charakter proudícího plynu. Takovéto proudění lze obecně popsat difuzní Laplace-Poissonovou diferenciální rovnicí pro rovinou úlohu podle (4.15) resp. v upraveném tvaru (4.16).

$$\alpha \left( \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} \right) = \beta \frac{\partial \varphi}{\partial t}, \quad (4.15)$$

$$-\alpha \Delta \varphi + \beta \frac{\partial \varphi}{\partial t} = 0, \quad (4.16)$$

Kde  $\varphi(r)$  je neznámá funkce popisující nestacionární působení tlaku  $p$ ,  $t$  je čas,  $\alpha$ ,  $\beta$  jsou materiálové konstanty media.

Rovnice (2) je splněna v každém bodě obecně studované oblasti  $\Omega = \sum_i \Omega_i$  při předepsané počáteční podmínce, která předepisuje v čase  $t=t_0$  počáteční hodnotu resp. rozložení funkce  $\varphi|_{t=t_0}$ . Hranici  $\Gamma$  oblasti  $\Omega$  rozdělíme na dvě části  $\Gamma = \Gamma_1 \cup \Gamma_2$ , protože je nutno předepsat odpovídající okrajové podmínky pro vtok a výtok media. Okrajové podmínky jsou popsány rovnicemi (4.17) a (4.18). Přičemž rovnice (4.18) vyjadřuje podle [78] Fourierův zákon o intenzitě proudění media  $i = -p$  na hranici s vnější normálou  $n$ .

$$\varphi - \bar{\varphi} = 0, \text{ na části hranice } \Gamma_1 \quad (4.17)$$

$$\alpha \frac{d\varphi}{dn} - \bar{p} = 0, \text{ na části hranice } \Gamma_2 \quad (4.18)$$

Kde  $\bar{\varphi}$  značí intenzitu předepsaného průběhu funkce  $\varphi$  v čase  $t$ ,  $n$  je normálový vektor směřující ven z oblasti  $\Omega$ ,  $\bar{p}$  je intenzita proudění tlaku.

Samotný průběh přetváření není znám, jsme odkázáni jen na obrazovou analýzu konečného přetvoření struktury. Z toho důvodu nelze k této úloze přistupovat jako k úloze, kde dochází k přetvoření jiných struktur, např. olejnatých semen, kde bylo využito pro sestavení vztahu pro stlačování Levenberg-Marquartova algoritmu [79, 80]. Při stlačování vznikající 3D nanostruktury je patrné, že se jednotlivé vrstvy stlačují a táhnou podobně jako porézní struktura zeminy při stlačování. Lze si proto představit, že takováto struktura by se mohla chovat podobně jako Winkler-Pasternakův model [81-83], který je využíván pro zatížení porézních struktur jako je prach, zeminy, bahna, jíly a jiné obdobné struktury. Prostřednictvím Winkler-Pasternakova modelu lze pak přiblížit přetvoření podle rovnice (4.19).

$$C_1 \omega - C_2 \left( \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right) = \bar{p}_k, \quad (4.19)$$

Kde  $\bar{p}_k$  je plošné zatížení působící na 3D nanostrukturu  $C_1$ ,  $C_2$  jsou konstanty Winkler-Pasternakova modelu,  $\omega$  vyjadřuje průhyb.

Uvedené vztahy lze přímo aplikovat pro sestavení rovnice pro plošné řešení metodou

konečných prvků, kde pro tuto úlohu lze využít zejména Galerkinovu metodu, která v tomto případě dává prakticky stejné výsledné řešení v porovnání s Ritzovou metodou [84, 85]. Rovnici (4.16) lze pak vyjádřit pomocí rovnice (4.20).

$$\int_{\Omega} \left( -\alpha \Delta \varphi + \beta \frac{\partial \varphi}{\partial t} \right) \delta \varphi d\Omega + \int_{\Gamma_2} (\alpha \Delta \varphi - \bar{p}) \delta \varphi d\Gamma = 0. \quad (4.20)$$

Pro potřeby sestavení MKP simulace lze pomocí Gaussovy věty upravit první integrál z rovnice (4.20), čímž získáme rovnici (4.21).

$$\int_{\Omega} \left\{ \alpha \left[ \frac{\partial}{\partial x} (\delta \varphi) \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} (\delta \varphi) \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right] + \beta \delta \varphi \frac{\partial \varphi}{\partial t} \right\} d\Omega - \int_{\Gamma_1} \alpha \frac{d\varphi}{dn} \delta \varphi d\Gamma - \int_{\Gamma_2} \delta \varphi \bar{p} d\Gamma = 0. \quad (4.21)$$

Na části hranice  $\Gamma_1$  je definována okrajová podmínka z rovnice (4.15) z čehož plyne, že  $\delta \varphi = 0$ . V MKP se funkce  $\varphi$  aproximuje po elementech navržené konstrukce sítě konečných prvků podle rovnice (4.22).

$$\varphi = \mathbf{B} \mathbf{r} \quad (4.22)$$

Kde  $\mathbf{B}$  je řádková matice báзовých funkcí,  $\mathbf{r}$  je sloupcová matice uzlových hodnot funkce  $\varphi$ .

Výsledně pak dostáváme základní tvar diferenciální rovnice prvního řádu podle rovnice (4.23).

$$\mathbf{K} \mathbf{r} + \mathbf{L} \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \bar{\mathbf{p}} \quad (4.23)$$

Kde členy  $\mathbf{K}$ ,  $\mathbf{L}$ ,  $\bar{\mathbf{p}}$  lze vyjádřit podle následujících rovnic (4.24).

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{K} &= \int_{\Omega} \alpha \left( \frac{\partial \mathbf{N}^T}{\partial x} \frac{\partial \mathbf{N}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{N}^T}{\partial y} \frac{\partial \mathbf{N}}{\partial y} \right) d\Omega \\ \mathbf{L} &= \int_{\Omega} \beta \mathbf{N}^T \mathbf{N} d\Omega \\ \bar{\mathbf{p}} &= \int_{\Gamma_2} \mathbf{N}^T \bar{p} d\Gamma \end{aligned} \right\} \quad (4.24)$$

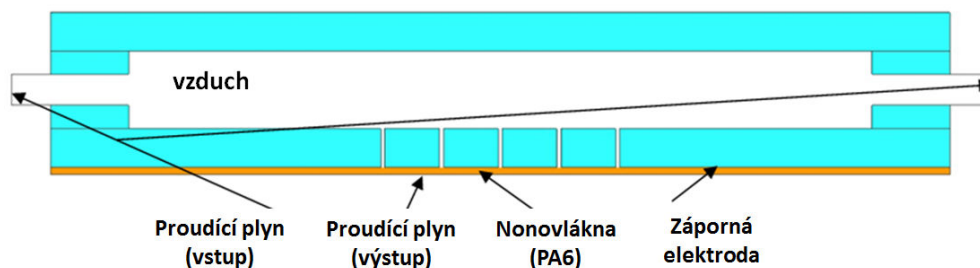
Rovnici (4.19) přibližující popsání přetvoření pomocí Winkler-Pasternakova modelu lze pak vyjádřit pomocí příslušného funkcionálu pomocí rovnice (4.25).

$$\frac{1}{2} \int_{\Omega} \left\{ C_1 \omega^2 + C_2 \left[ \left( \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right)^2 \right] \right\} dx dy - \int_{\Omega} \bar{p}_k \omega dx dy - \int_{\Gamma} \bar{q}_k \omega ds = \Pi. \quad (4.25)$$

Kde  $\bar{q}_k$  vyjadřuje silovou okrajovou podmínku, kde v případě proudění media se jedná o geometrickou okrajovou podmínku. [77]

### Sestavení modelu MKP

MKP model [77] (viz obr. 4.35) byl vytvořen v software Comsol Multi-physics, který umožňuje modelování elektrických polí, toků v piezoelektrických materiálech, stlačení izotropních i anizotropních materiálů a dalších fyzikálních jevů.



**Obr. 4.35** FEM model části technického systému pro studii přetvoření 3D nanostruktury

Tento software obsahuje širokou škálu nástrojů pro simulaci různých problémů, které jsou popsány pomocí parciálních diferenciálních rovnic. To umožňuje modelování vektoru rozdělení hybnosti namáhaných nanostruktur. Comsol používá pro výpočet implicitní algoritmus, kde jsou jednotlivé stavy analyzované komprese aktualizovány postupně v čase  $t + dt$  dle rovnice (4.26).

$$\delta u_{i+1} = u_{i+1}^{t+\Delta t} - u_i^{t+\Delta t} \quad (4.26)$$

Kde  $u_i^{t+\Delta t}$  je vektor uzlových posunutí pro  $i$ -tou iteraci v čase  $t + \Delta t$ . Fyzikální parametry MKP modelu jsou uvedeny v tabulce 4.10.

**Tab. 4.10** Fyzikální parametry modelu MKP

Komponenta modelu	Hustota (kg/m <sup>3</sup> )	Viskozita (kg/m.s)	Relativní permitivita <sup>a)</sup> (-)	Modul pružnosti (MPa)
záporná elektroda	7,8.10 <sup>3</sup>	-	1	2,1.10 <sup>6</sup>
proudící medium	1,14	1,789.10 <sup>-5</sup>	1,0054	-
Nanovláknenná vrstva z polymeru (PA6)	1,4.10 <sup>3</sup>	8,3.10 <sup>-6</sup>	3,5	1200.10 <sup>-2 b)</sup>

a) relativní permitivita a materiálové vlastnosti s kritickými hodnotami při zvlákňování [86].

b) modul pružnosti nanovláknenné vrstvy vychází z modulu polymeru PA6 vztaženého k hustotě zaplnění nanovláknenné struktury, [87-90] uvádí množství hmoty ve vláknenné porézní struktuře.

Výsledky simulace jsou ovlivňovány počátečními a okrajovými podmínkami, které jsou ovlivněny pohybem plynu ze záporné elektrody směrem k nanostruktuře. Proto je nutné sledovat okamžitý účinek proudu vzduchu tlaku 1700Pa a působící síle 0,026N proudícího z trysky o průměru 1mm až po okamžik dosažení nanostruktury. Jelikož v numerické simulaci bývá největším problémem konvergence výpočtu, bylo již při návrhu modelu využito adaptivního síťování konečných prvků (viz obr. 4.36a) umožňujícího vytvářet síť konečných prvků splňující kritéria proudění, okrajové i počáteční podmínky. Cílem je

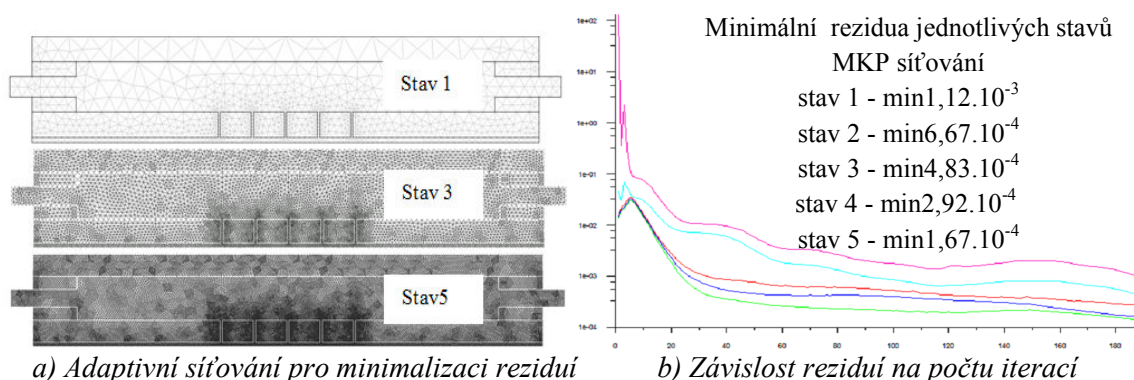
minimalizovat rezidua daná rovnicí (4.27) na přijatelnou úroveň vhodným počtem iterací již na začátku výpočtu.

$$a_{-1} = 1 / 2\pi i \oint_c f(z) dz = \sum_{k=1}^n \text{Res}[f(z)]_{z=z_k} \quad (4.27)$$

Kde  $a_{-1}$  je reziduum funkce  $f(z)$  v uzlovém bodě  $z_0$ ,  $f(z)$ , která vyjadřuje funkci Laurentovi řady v okolí izolovaného singulárního bodu (uzlu), přičemž musí platit ( $z_0 \neq z$ ),  $\text{Res}[f(z)]_{z=z_k}$  označujeme reziduum funkce  $f(z)$  v  $k$ -tém uzlovém bodě  $z_k$ .

Využitím adaptivní techniky se kritická hranice v oblasti zájmu zjemní, nicméně může dojít k tomu, že se matice tuhosti stane špatně podmíněnou, což ovlivňuje konvergenci výpočtu. Možností by proto mohlo být využití multigrid (více síťové) metody, která kombinuje iterační a finitní metody. Chybu řešení pak lze rozdělit na singulární (lokální) a globální chybu. Singulární chyba je vysokofrekvenční chyba, která je lokálně rozsáhlá, lze ji však zmenšit iteračním postupem. Globální nízkofrekvenční chyba má povahu hladké funkce a postihuje prakticky celou řešenou oblast. Síť konečných prvků proto byla vytvořena z 2D osově symetrických prvků (9-uzlové prvky).

Pro dostatečně přesné řešení v geometricky komplikovaných oblastech (zaoblení, rohy trysky) a oblasti studia přetvoření byly adaptivní technikou vytvořeny prvky o velikosti 0,002 mm. Výsledná závislost konvergence výpočtu, která je daná vyjádřením velikosti residuí na počtu iterací výpočtu, je uvedena na obr. 4.36 a v tab. 4.11.



Obr. 4.36 MKP síťování – proces konvergence [77]

Tab. 4.11 Konečné hodnoty adaptivního síťování MKP modelu [77]

Konečný počet uzlů/elementů	Počet iterací	Reziduum	Požadovaná přesnost řešení (%) *
213625/ 34888	188	$1,67 \cdot 10^{-4}$	5

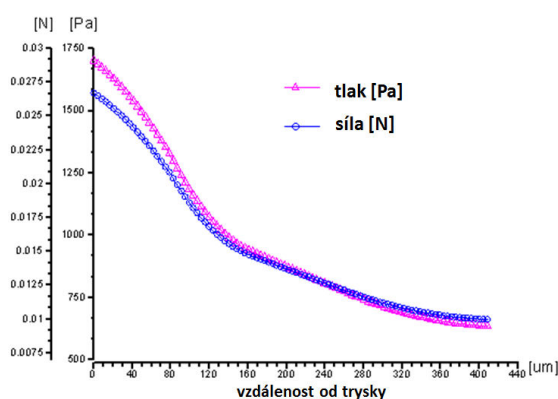
\* ... požadovaná přesnost řešení se vztahuje k výsledné chybě  $\|e\|$  představující sumu příspěvků chyb jednotlivých prvků

### Výsledky získané simulací MKP

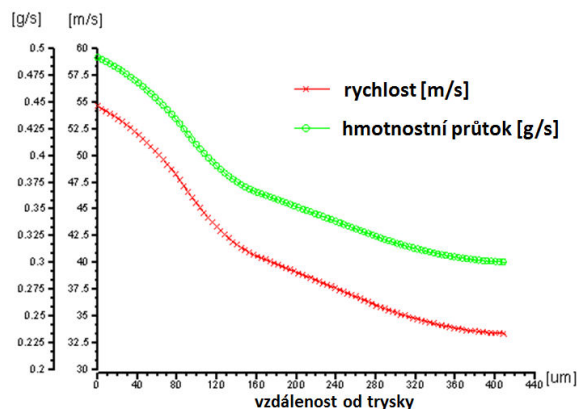
Využitím numerické simulace metodou konečných prvků byly získány výsledky - tlakové síly působící na strukturu (viz obr. 4.37), ze kterého je zřejmý nelineární pokles tlaku z počáteční hodnoty 1700 Pa (měřeno v ose toku) na 600 Pa ve vzdálenosti 400  $\mu\text{m}$  od trysky. Ve vzdálenosti 160  $\mu\text{m}$  dosahuje síla hodnoty  $0,0155 \pm 0,0015$  N a pak klesá méně

strmě. To je dáno prouděním plynu do okolních nanostruktur umožněné její porézností. Tato závislost má bi-lineární průběh.

Podobné průběhy vykazují také veličiny rychlost plynu proudícího 3D nanostrukturou a jeho hmotnostní průtok (obr. 4.38). Rychlost proudění plynu klesá z počáteční hodnoty  $54 \text{ m.s}^{-1}$  na hodnotu  $32,3 \text{ m.s}^{-1}$  (pokles přibližně o 40%). Hmotnostní průtok klesá z hodnoty  $0.49 \text{ g.s}^{-1}$  na hodnotu  $0.233 \text{ g.s}^{-1}$  (pokles přibližně o 42,5%).

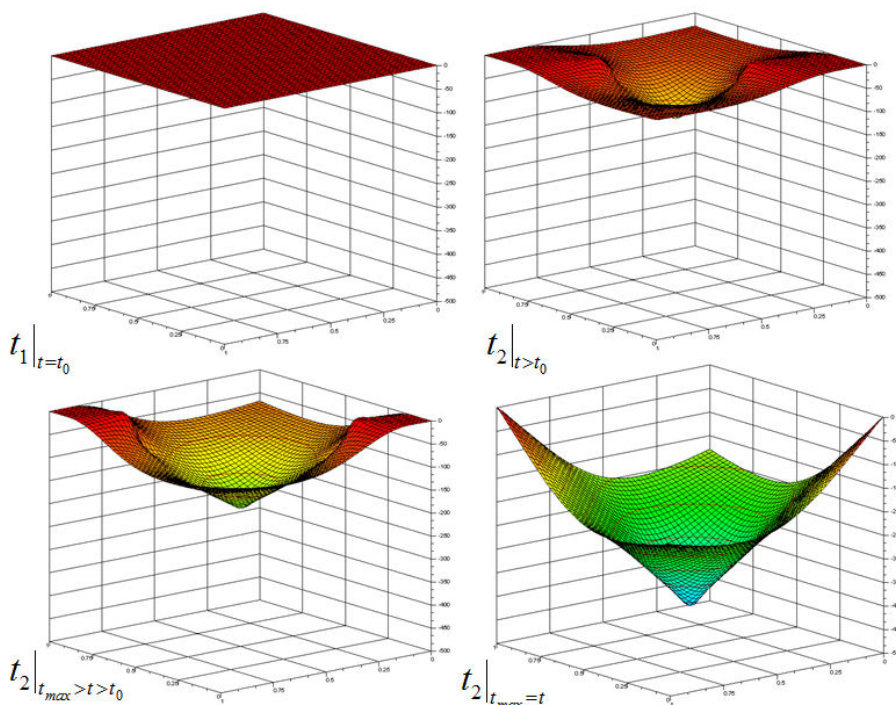


**Obr. 4.37** Průběh tlaku a síly v závislosti na vzdálenosti od trysky [77]



**Obr. 4.38** Průběh rychlosti a hm. průtoku v závislosti na vzdálenosti od trysky [77]

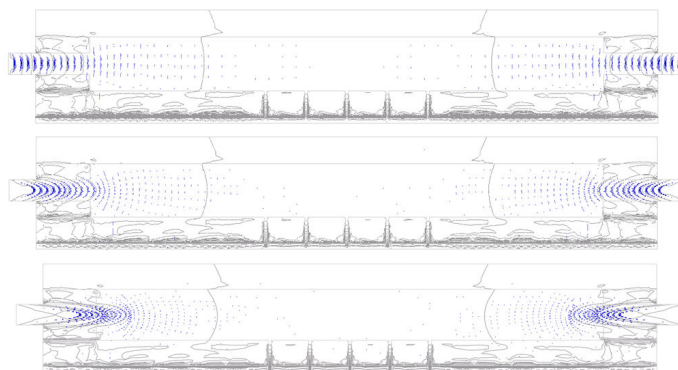
Průběh přetvoření struktury v blízkosti trysky v čase  $t$  (obr. 4.39) ukazuje, že rozšíření struktury je způsobeno kombinací tahového a tlakového napětí. Podoba deformace odpovídá vychýlení membrány, což obecně odpovídá Winkler-Pasternakovu modelu, kde je vychýlení membrány popsáno rovnicí (4.19).



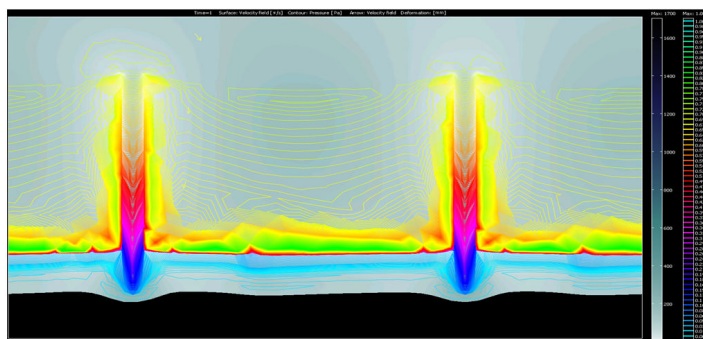
**Obr. 4.39** Průběh plošného přetvoření nanovlákněné vrstvy způsobeného proudícím plynem [77]

MKP model laminárního proudění inertního plynu (vzduchu) z trysky záporné elektrody proti nanovlákněné struktuře je zachycen na obr. 4.40 (vektorový diagram) a obr. 4.41

(detail rozložení působícího tlaku z dvou trysek a přetvoření 3D nanostruktury od působícího tlaku 1700 Pa - model pro stanovení velikosti tlaku plynného média).



**Obr. 4.40** Vektorový diagram laminárního proudění plynu z trysky záporné elektrody [77]

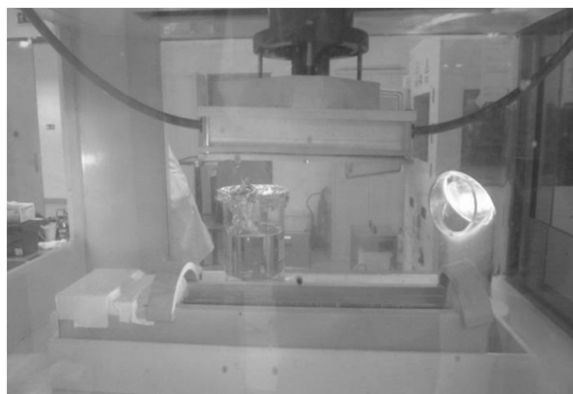


**Obr. 4.41** Stanovení velikosti tlaku média (průběh proudění při působícím tlaku 1700 Pa) [77]

Numerická simulace MKP ukázala požadované přetvoření nanovláknenné struktury při tlaku 1700 Pa.

### 4.5.3 Experimentální ověření vlivu proudícího média

Vliv proudícího plynného média proti směru zvlákňování byl ověřen experimentálním zůsobem [92] na zařízení NanoLab<sup>TM</sup> (obr. 4.42). Zvlákňován byl polymerní roztok polyamidu 6 (PA6) s 12% kyseliny octové. Zvlákňování probíhalo za teploty  $22 \pm 0,2^\circ\text{C}$  a vlhkosti 30% s gradientem elektrostatického pole 75kV a 0,084mA.



**Obr. 4.42** Experimentální měření na NanoLab<sup>TM</sup>



Reorganizace uspořádání nanovláknenných vrstev je způsobena proudícím plynem. Proud může být charakterizován tlakem a rychlostí. V prezentovaném experimentu bylo použito třech různých plynů. Rychlost proudění jednotlivých plynů byla měněna z důvodu různých hustot plynů, tlak byl zachovávan na konstantní hodnotě. Parametry proudícího plynného média jsou shrnuty v tab. 4.12.

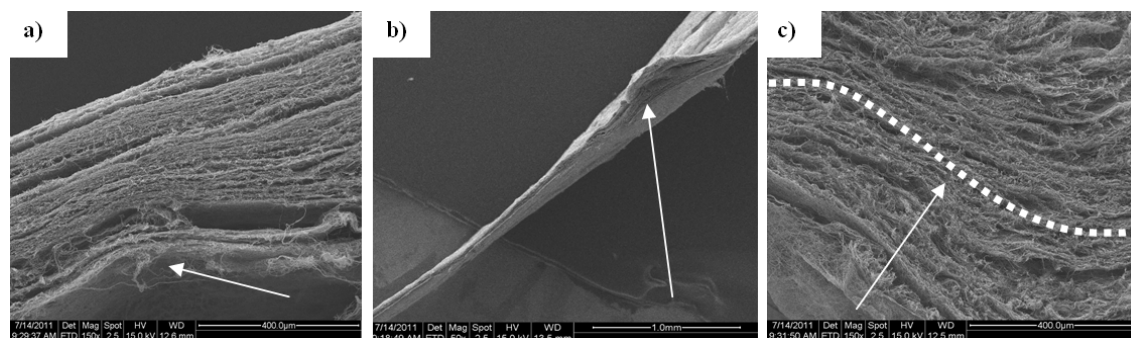
**Tab. 4.12** Parametry proudícího plynného média [77]

Parametry proudícího plynu na výtoku z trysky				
Plyn	Hustota ( $\text{kg/m}^3$ )	Hmotnostní průtok (g/s)	tlak (Pa)	Působící síla (N)
vzduch	1,14	$0,88 \pm 0,012$	1700	$0,026 \pm 0,007$
SF <sub>6</sub> <sup>a</sup>	5,765	$1,99 \pm 0,019$	1700	$0,026 \pm 0,003$
Kr <sup>b</sup>	3,307	$1,50 \pm 0,008$	1700	$0,026 \pm 0,005$

a. SF<sub>6</sub> je fluorid sírový (velmi dobré dielektrikum)

b. Kr je krypton (inertní plyn)

Charakter výsledného přetvoření nanovláknenné struktury je zachycen na obr. 4.43. Je ukázáno, jak proudící plyn ovlivňuje pravidelně uspořádanou strukturu. Proudící plyn proniká do struktury a rozšiřuje prostor mezi vrstvami nejen v místě trysek, ale i mimo ně. To je zapříčiněno tím, že plyn proudí také v pórech vznikající nanovláknenné vrstvy.



a) Počáteční stlačování struktury proudícím plynem ( $t > t_0$ , plyn proudí z trysek)

b) Konečný stav stlačení ( $t_{\max} = t$ )

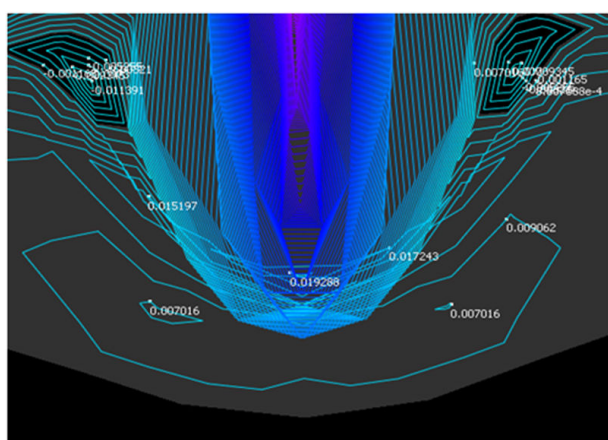
c) Detail přetvoření (sinusového tvaru) nanovláknenné struktury

**Obr. 4.43** Nanovláknenná struktura formovaná proudícím plynem [77]

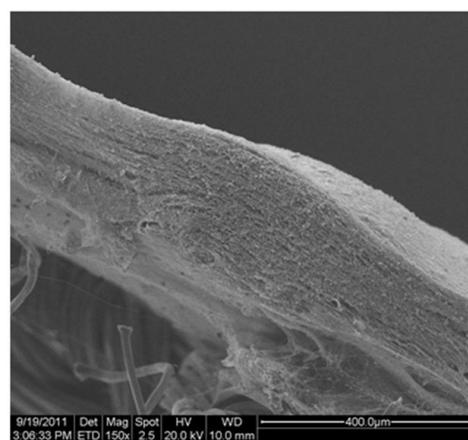
Dynamické působení tlaku při působící síle  $0,026 \pm 0,007$  N na povrch nehomogenní 3D nanovláknenné struktury způsobuje přetvoření struktury reorganizací vláken (znázorněno izočárami). Hodnota maximální tloušťky skutečné struktury formované proudícím vzduchem byla mikroskopicky změřena  $280 \pm 20 \mu\text{m}$ . Výsledky numerické simulace ukázaly přibližně o 70% vyšší hodnotu ( $410 \pm 30 \mu\text{m}$ ), tento rozdíl si lze vysvětlit vratnou deformací struktury, která nastane po ukončení proudění plynného média, kdy se působící síla limitně blíží nule. Proudící vzduch tedy způsobuje dočasné provzdušnění struktury, které po odstranění působícího tlaku mizí a tloušťka struktury se zmenšuje. Se zohledněním výše uvedeného lze konstatovat, že výsledky získané MKP a obrazovou analýzou si odpovídají. [77]

#### 4.5.4 Závěr z úlohy inovace přívodem plynného média

Představená úloha ukázala vhodnost použití metody Tfe při identifikaci a řešení problému plošného uspořádání vláken v rovině textile. Identifikace problému byla provedena pomocí nástrojů funkční analýza (FA) a příčinně-následkový řetězec (RCA+(q)). Problém v podobě **fyzikálního rozporu** byl řešen separačním **principem separace v čase** s využitím **invenčního principu č. 9 – předběžné anti-působení**. Předběžné anti-působení v podobě **foukání plynného media proti směru zvlákňování** bylo studováno a **optimalizováno numerickou simulací MKP a ověřeno experimentálně**. Výsledky MKP a experimentu ukázaly na vhodnost využití proudícího plynného media, které způsobuje žádané přetvoření (provzdušnění) nanovlákněné struktury. Obrázek 4.44 ukazuje srovnání výsledků přetvoření nanovlákněné struktury získaných numerickou simulací (obr. 4.44a) a experimentálně (obr. 4.44b). Je zřejmé, že proudící medium způsobuje deformace struktury, která odpovídá rozložení tlaku v jednotlivých částech struktury.



a) FEM model



b) skutečná 3D nanostruktura

**Obr. 4.44** Porovnání výsledků přetvoření struktury [77]

Při modelování MKP byly hledány optimální hodnoty proudění plynného média v čase (tlak, rychlost, gradient apod.), které by zajistily reprodukovatelné dosažení uvedené 3D nanostruktury ve výrobním procesu. Konstrukce sběrné elektrody a také výrobní proces elektrostatického zvlákňování pro výrobu 3D nanovlákněné struktury může být s výhodou optimalizován pomocí MKP. Konstrukcí sběrné elektrody se blíže zabývá práce [91].

#### 4.6 Inovace kolektoru typu kartáč

V této kapitole bude na vlastní, autorem řešené, úloze inovace kolektoru typu kartáč zařízení na výrobu nanovláken představeno **srovnání idejí konstrukčních řešení**, ke kterým bylo dospěno **intuitivním** přístupem s konceptem konstrukčního řešení, které bylo navrženo využitím **vlastní metody Tfe**. Srovnání poukazuje především na rozdílnou časovou náročnost nalezení funkčního řešení. Tato úloha má verifikační charakter, kdy potvrzuje, že využití vlastní systematické metody Tfe poskytuje:

- nalezení řešení **v kratším čase** nežli při hledání řešení obvyklým intuitivním způsobem či metodou pokus-omyl,
- principiálně odlišné řešení ležící mimo vektor psychologické setrvačnosti.



### 4.6.1 Popis problému

Pro zajištění vysoké produktivity zvláknování se ukazuje být vhodné využití kolektoru typu kartáč (viz obr. 4.45), který zajišťuje požadované rozložení intenzity el. pole.

Výhoda relativně vysoké produktivity je kompenzována **problémem** nalezení vhodného řešení **snímání zvlákněného materiálu z kolektoru** (viz obr 4.46).



Obr. 4.45 Systém s kolektorem typu kartáč



Obr. 4.46 Problematické snímání zvlákněného materiálu z kolektoru

### 4.6.2 Popis konstrukčních řešení nalezených intuitivním přístupem

Problém snímání zvlákněného materiálu byl řešen nejprve intuitivním způsobem v rámci disertační práce [123]. Intuitivním způsobem byla nalezena řada možností snímání zvlákněného materiálu [123, 124]. Tyto možnosti ovšem zpravidla poskytovaly buď neuspokojivé, nebo jen částečně uspokojivé řešení. Níže budou stručně popsána řešení nalezená intuitivním způsobem.

#### Kolektor z vodivého plastu s žiletkou

Prvním navrženým řešením bylo využití kolektoru se štětinami z vodivého plastu. Ke snímání byla použita žiletka umístěná tečně ke kolektoru. Toto řešení se ukázalo jako nevyhovující, žiletka zatlačovala zvlákněný materiál do kolektoru a nedocházelo k požadovanému snímání zvlákněného materiálu.

#### Kolektor z vodivého plastu s žiletkou s jednoosým pohybem

První řešení bylo modifikováno tím způsobem, že byla žiletka zkrácena a umístěna na pneumaticky poháněný posuvný člen vykonávající lineární vratný pohyb v ose rovnoběžné s osou kolektoru. Také u tohoto řešení docházelo k nežádoucímu zatlačování zvlákněného materiálu mezi štětiny kolektoru a nedocházelo k požadovanému snímání zvlákněného materiálu.

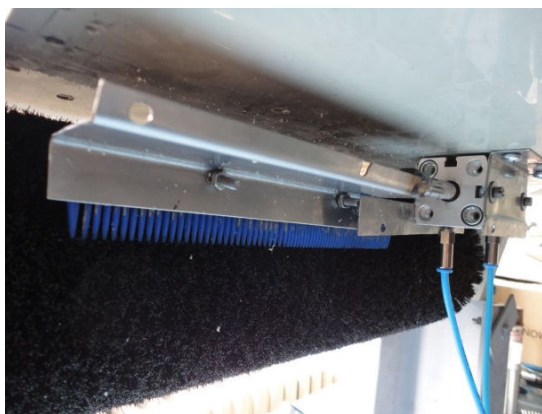
#### Kolektor z vodivého plastu s hřebenem s jednoosým pohybem

Od systému s žiletkou bylo opuštěno. Žiletka, která zahlaćovala zvlákněný materiál do kartáče byla nahrazena hřebenem vnořeným do kolektoru. Z psychologické setrvačnosti, kde se jako více vyhovující ukázala žiletka s posuvem, byl zvojen krátký hřeben vykonávající lineární vratný pohyb v ose rovnoběžné s osou kolektoru. Pohyb hřebenu je

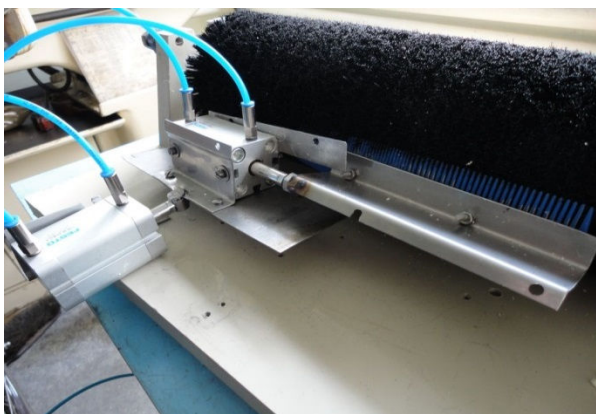
zajišťován pomocí pneumatického systému. Zvlákněný materiál měl být z kolektoru sejmут hřebenem během jedné otáčky. Hřeben je umístěn sečně ke kolektoru, díky nedokonalé válcovitosti kolektoru musí být vnořen mezi štětiny kolektoru (kartáče) minimálně do hloubky 2mm. Štětiny kartáče jsou vyrobeny z vodivého plastu. Pružné plastové štětiny kartáče jsou ovšem vnořením hřebenu pružně deformovány, čímž dochází k neúplnému odstranění zvlákněného materiálu, řešení (obr. 4.47) je opět nevyhovující.

#### **Kolektor z vodivého plastu s hřebenem s dvouosým pohybem**

Dalším krokem intuitivního vývoje bylo opuštění od požadavku kontinuálního snímání materiálu a přistoupení k využití hřebene s přísuvem i posuvem. Proces zvláknování a snímání pak probíhal ve třech krocích. V prvním kroku bylo provedeno zvláknování, kdy byla na povrchu kartáče vytvořena souvislá soudržná vrstva nanovláken. Tato zvlákněná vrstva byla následně snímána přísuvem hřebenu do kolektoru, tím došlo k proniknutí hřebenu skrz zvlákněnou vrstvu a následným posuvem hřebenu v ose rovnoběžné s osou kolektoru, který se současnou rotací kolektoru měl zajistit sejmutí struktury. Ani v tomto případě nebylo zabráněno pružné deformaci štětín kartáče a nedokonalému snímání zvlákněného materiálu. Řešení (obr. 4.48) opět neposkytlo požadovaný výsledek.



**Obr. 4.47** Snímání pomocí plastového hřebenu s jednoosým pohybem



**Obr. 4.48** Snímání pomocí plastového hřebenu s přísuvem i posuvem

#### **Kovový kolektor s kovovým hřebenem**

Všechna předchozí řešení narážela na problém přílišné deformace štětín kolektoru, jež zabraňovala pořadovanému snímání zvlákněného materiálu. Z toho důvodu byl v dalším kroku vývoje zvolen kolektor s kovovými štětinkami. Protože by kovové štětiny kolektoru poškozovaly plastový hřeben, byly hřeby hřebene zhotoveny z konstrukční oceli.



**Obr. 4.49** Systém s kovovým kolektorem i hřebenem

Hřeben má délku kolektoru, proces zvlákňování a snímání není kontinuální, nýbrž probíhá ve dvou krocích, nejprve probíhá zvlákňování, kdy je vytvořena souvislá a soudržná vrstva zvlákněného materiálu. Poté je pomocí pneumatického přísuvu vnořen hřeben do kolektoru a rotací kolektoru dochází ke snímání materiálu. Nevýhodou tohoto řešení (obr. 4.49) je, že ke snímání materiálu nedochází kontinuálně a souběžně s procesem zvlákňování.

#### **Kovový kolektor s kovovým hřebenem a odsáváním**

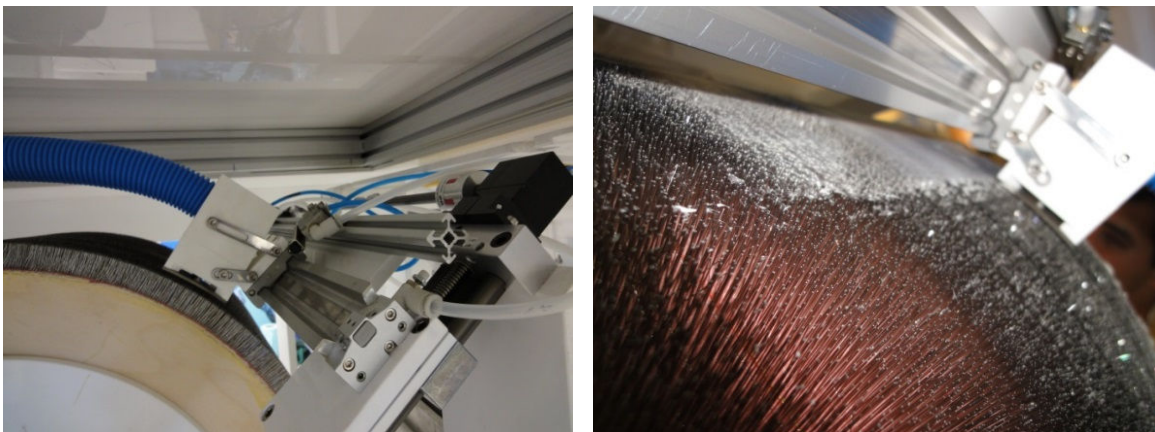
Sejmutí vrstvy pomocí hřebene doposud neřeší otázku vhodného způsobu odvedení zvlákněného materiálu z pracovního prostoru zařízení. Vhodným způsobem se ukázalo být použití odsávání sejmutého a zvlákněného materiálu (obr. 4.50).



**Obr. 4.50** Systém s kovovým kolektorem i hřebenem s odsáváním

#### **Kovový kolektor s žiletkou a odsáváním**

Předchozí řešení neposkytovalo požadované kontinuální snímání zvlákněného materiálu, proto bylo intuitivně hledáno další řešení. To opět leželo ve směru vektoru psychologické setrvačnosti, kdy bylo přistoupeno k systému s žiletkou s odsáváním. Snímací systém vykonává lineární vratný pohyb v ose rovnoběžné s osou kolektoru. Žiletka strhne vrstvu nanovláken z horní části štětín a odsávací systém odstraňuje zvlákněný materiál z kolektoru (obr. 4.51).



**Obr. 4.51** Systém s kovovým kolektorem, žiletkou a odsáváním

#### **Systém s odsáváním**

Pro určité typy kolektorů, kdy výše uvedený systém s žiletkou a odsáváním neposkytoval požadované výsledky, byl testován systém využívající pouze odsávání. Toto řešení je opět pokračování v intuitivním hledání řešení ve směru vektoru psychologické setrvačnosti. Systém (obr. 4.52) poskytuje relativně uspokojivé výsledky ve smyslu odvádění



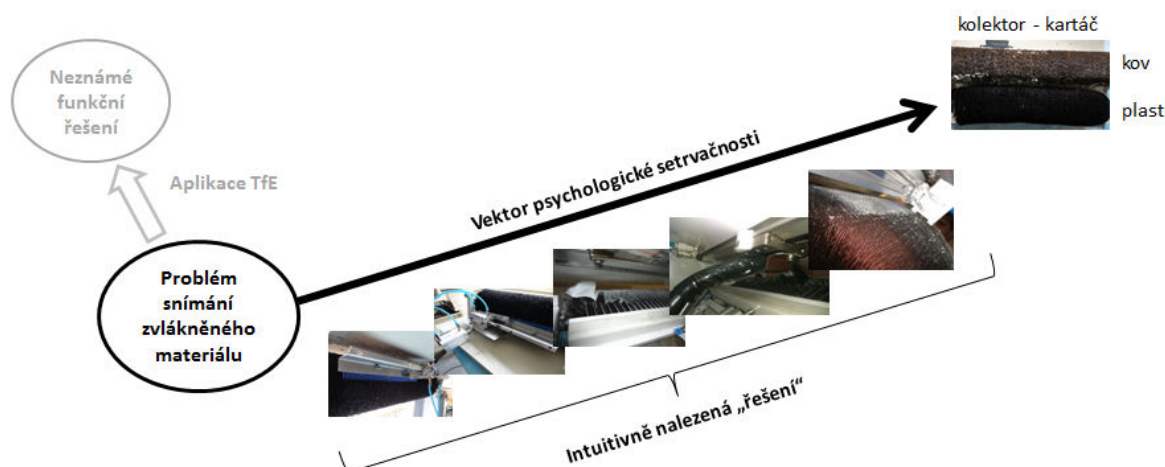
zvlákněného materiálu z kolektoru, nicméně stále dochází k poškození zvlákněné vrstvy. Odvedený materiál je možno použít např. pro výplně apod., nikoliv jako plošnou textilií.



Obr. 4.52 Snímání a odvod zvlákněného materiálu odsáváním

Z výše uvedeného přehledu intuitivně nalezených způsobů snímání zvlákněného materiálu z kolektoru vyplývá, že byla nalezena řada řešení ve směru vektoru psychologické setrvačnosti (viz obr. 4.53) vycházející z koncepce kartáče, hřebenu a odsávání. Počáteční řešení byla zcela nevyhovující, postupně byla nalezena řešení, která poskytují relativně uspokojivé výsledky. Úloha hledání lepších řešení měla spíše optimalizační charakter (změna materiálu štětin kartáče, změna materiálu a geometrie hřebene, optimalizace uspořádání, apod.). Nalezení uspokojivého řešení intuitivním způsobem, resp. metodou pokus-omyl obnášelo mnoho času i nákladů na vývoj i testování všech, tedy i nevhodných řešení.

**Žádné z intuitivně nalezených řešení neposkytuje možnost kontinuálního snímání zvlákněného materiálu ve formě pásu plošné textilie.**

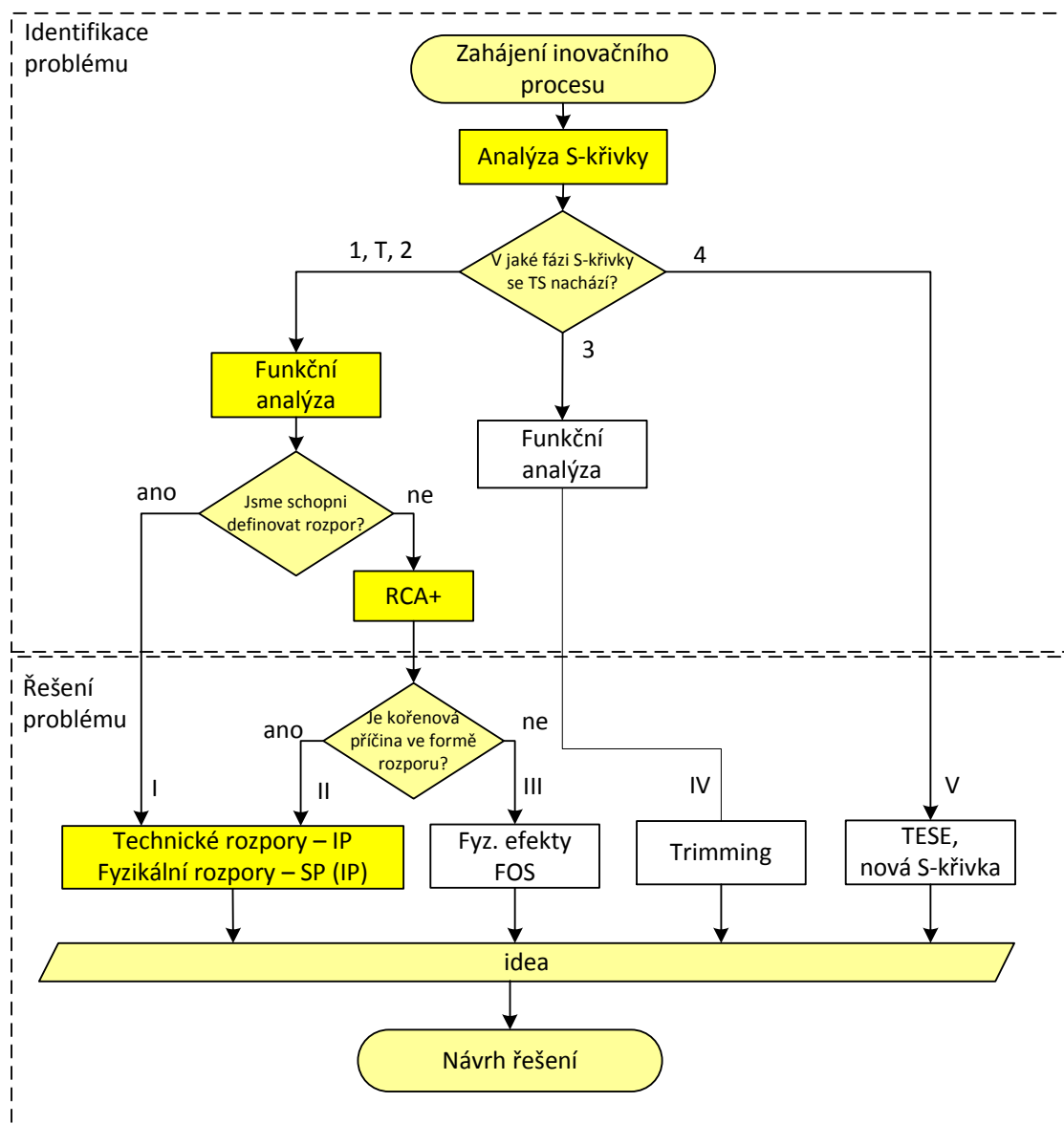


Obr. 4.53 Intuitivně nalezená řešení ležící ve směru vektoru psychologické setrvačnosti

Stejné primární zadání bylo autorem **nezávisle řešeno pomocí vlastní navržené metody TfE** bez znalosti existujících více či méně úspěšných intuitivně nalezených řešení. Postup řešení pomocí TfE je uveden níže.

### 4.6.3 Hledání řešení pomocí vlastní metody TfE

Pomocí navržené metody TfE byla řešena inovace kolektoru typu kartáč. Po stanovení fáze S-křivky, byla provedena funkční analýza, analýza kořenových rozporů, byl definován a pomocí separačních, resp. invenčních principů řešen fyzikální rozpor. V algoritmu TfE leží použité nástroje na větvi II (obr. 4.54). Idea inovovaného kolektoru se snímacím systémem byla dopracována do podoby 3D CAD modelu.

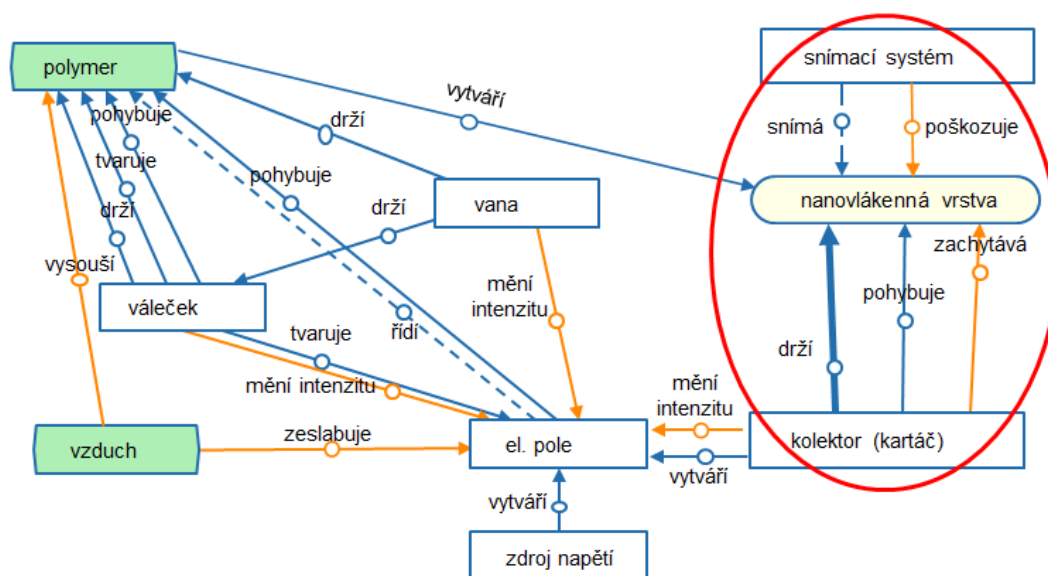


Obr. 4.54 Využití TfE k inovaci kolektoru typu kartáč

### Identifikace problému současných řešení

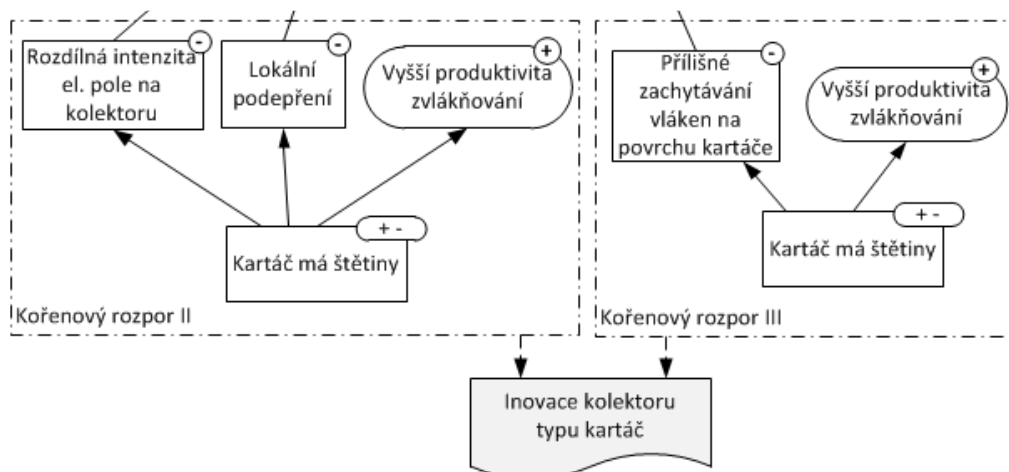
V prvním kroku identifikace problému systému s kolektorem typu kartáč byla provedena **funkční analýza**. Cílem funkční analýzy bylo provedení co nejpřesnější interpretace problému v podobě funkcí. Na obr. 4.55 je zachycen výstup funkční analýzy - model funkcí, ze kterého je zřejmá **funkce nadbytečné intenzity** „kolektor drží nanovláčennou

vrstvu“, dále pak nedostatečná funkce „snímací systém snímá nanovláknennou vrstvu“, škodlivými funkcemi jsou pak zachytávání zvlákněné vrstvy kolektorem a poškozování zvlákněné vrstvy snímacím systémem.



Obr. 4.55 Model funkcí zařízení s identifikací nežádoucích funkcí

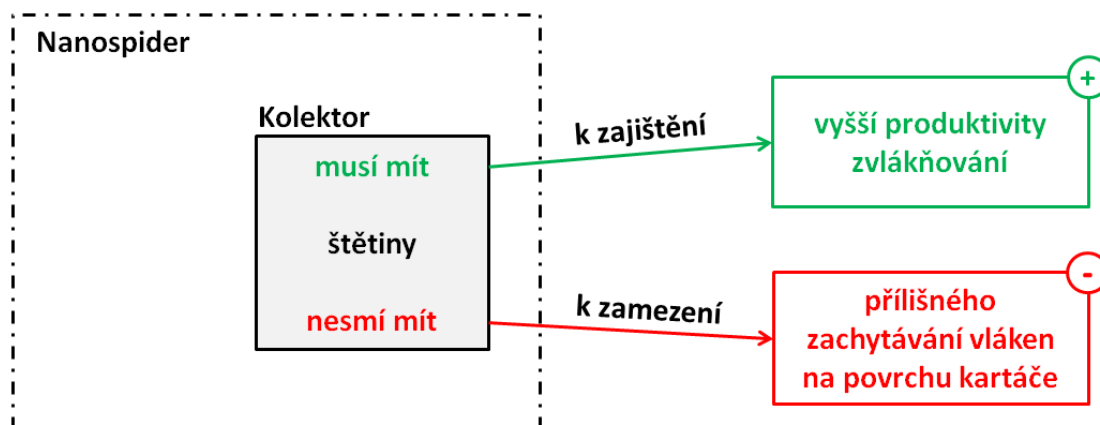
Kořenové příčiny nežádoucích funkcí byly zjišťovány pomocí příčinně-následkového řetězce RCA+, uvedeného v podkapitole 4.2. Ten **odhaluje kořenové fyzikální rozpory**, viz obr. 4.56. Tyto fyzikální rozpory jsou dány **protichůdným požadavkem na výskyt štětín** na kolektoru.



Obr. 4.56 Kořenové fyzikální rozpory

Souhrnně lze fyzikální rozpory definovat následovně. **Kartáč musí mít štětiny**, aby bylo dosaženo vyšší produktivity zvláknování, **a zároveň nesmí mít štětiny**, aby nedocházelo k:

- lokálnímu podepření vláken,
- rozdílné intenzitě el. pole na kolektoru,
- přílišnému zachytávání vláken na povrchu kartáče (viz obr. 4.57).



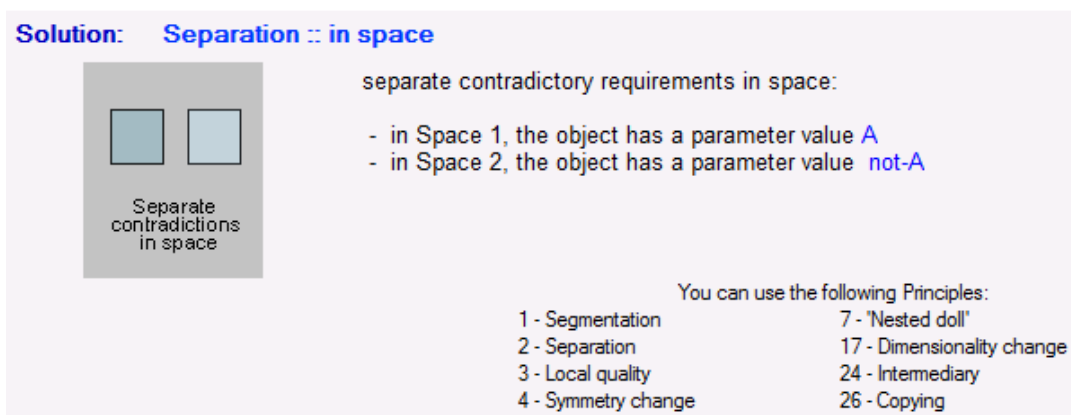
Obr. 4.57 Fyzikální rozpor vyskytující se u kolektoru typu kartáč

Takovéto, na první pohled banální, definování problému ve formě fyzikálního rozporu je ovšem zásadní pro následné hledání řešení definovaného problému. Platí zde pravidlo, že již samotný důsledně provedený popis problému může ukazovat na možné řešení.

## Řešení fyzikálního rozporu separací v prostoru

Požadavek na protichůdné vlastnosti výskytu štětín kartáče je vyžadován **ve stejném čase**, proto byl pro překonání fyzikálního rozporu zvolen separační princip – **separace v prostoru**. Pro řešení fyzikálního rozporu separací v prostoru jsou doporučovány následující invenční principy (viz tab. 3.8 i obr. 4.58):

- 1 – princip segmentace (*Segmentation*),
- 2 – princip separace (*Separation*),
- 3 – princip místní (lokální) kvality (*Local Quality*),
- 4 – princip asymetrie (*Assymetry*),
- 7 – princip "jeden objekt v druhém" (*Nestted Doll, Integration*),
- 17 – princip přechodu na jiný rozměr (*Another Dimension*),
- 24 – princip prostředníka (*Intermediary, Mediator*),
- 26 – princip kopírování (*Copying*).



Obr. 4.58 Návod k řešení fyzikálního rozporu separací v prostoru (SW GFI)

První z doporučených invenčních principů je **princip segmentace**, který doporučuje využít některého z následujících postupů:

- **rozdělit objekt** na nezávislé části,
- rozdělit objekt jako demontovatelný nebo odnímatelný,
- zvýšit stupeň drobení, **fragmentace objektu**.

Druhý z doporučených invenčních principů, **princip separace**, doporučuje využít některého z následujících postupů:

- **oddělit, separovat** rušivé části nebo vlastnosti od objektu (užití olověné ochrany k absorpci škodlivého rentgenového záření),
- **vyjmutí nezbytných nebo požadovaných částí nebo vlastností** (záznam zvuku nezávisle na filmu).

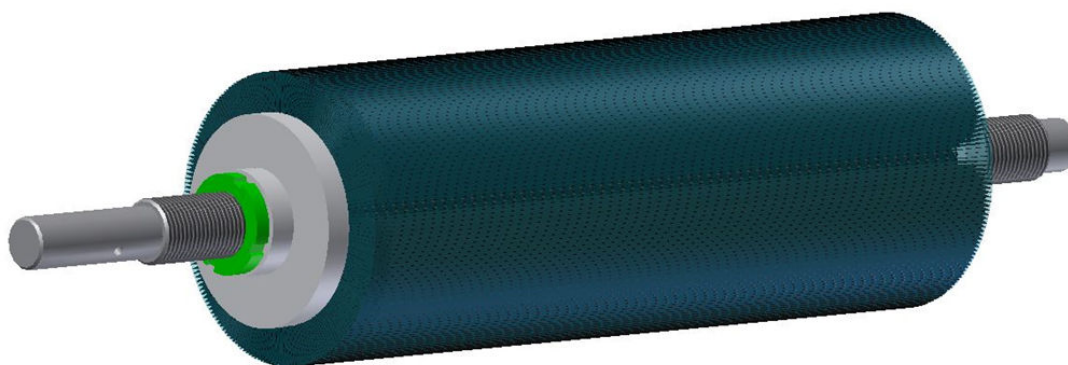
Inspirovat se můžeme také 3. invenčním principem – **lokální kvalita**, který doporučuje:

- přejít **od stejnorodé k nesterodné struktuře objektu**, vnějšího prostředí (rozdělení pruhů dálnice na rychlé a pomalé),
- přiřadit **různým částem objektu různé funkce** (tužka s gumou),
- zajistit každé části objektu nejvýhodnější podmínky pro její činnost (rozžhavený hrot s chladným držadlem pro ruku).

## Návrh řešení inovace kolektoru

Výše uvedená doporučení invenčních principů 1 až 3, především principu 3 – lokální kvalita, které doporučuje přiřadit **různým částem objektu různé funkce** a principu 2 – separace, který doporučuje **vyjmutí nezbytných nebo požadovaných částí nebo vlastností** nabízejí následující myšlenku.

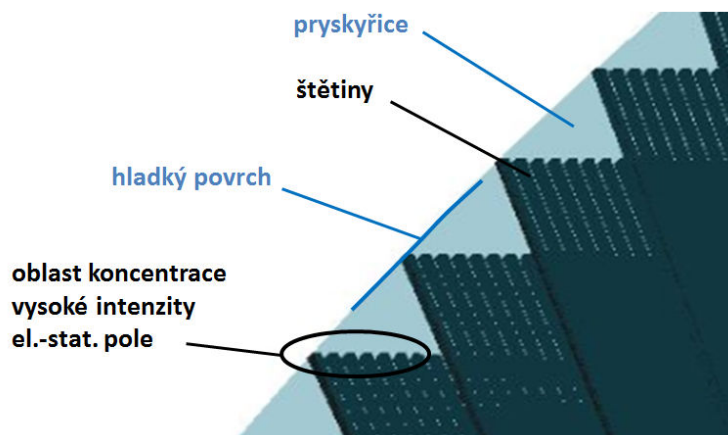
Abychom dosáhli toho, že kartáč bude mít štětiny a zároveň nebude mít štětiny, je možno kartáč zalít do vhodně zvoleného nevodivého polymeru. Potom **kolektor z „elektrického“ hlediska bude mít štětiny** potřebné k zajištění efektivního zvlákňovacího procesu a zároveň **kolektor nebude mít štětiny (z mechanického hlediska bude hladký)** pro zajištění snadného odnímání zvlákněné vrstvy. Počítačový 3D model navrženého řešení byl vytvořen v programu Inventor a je zachycen na obr. 4.59.



Obr. 4.59 Počítačový 3D model kartáče zalitého do pryskyřice



Na obr. 4.60 je potom zachycen detail konců štětin kartáče zalitých do pryskyřice. Tímto řešením je zajištěno splnění protichůdného požadavku na existenci štětin.

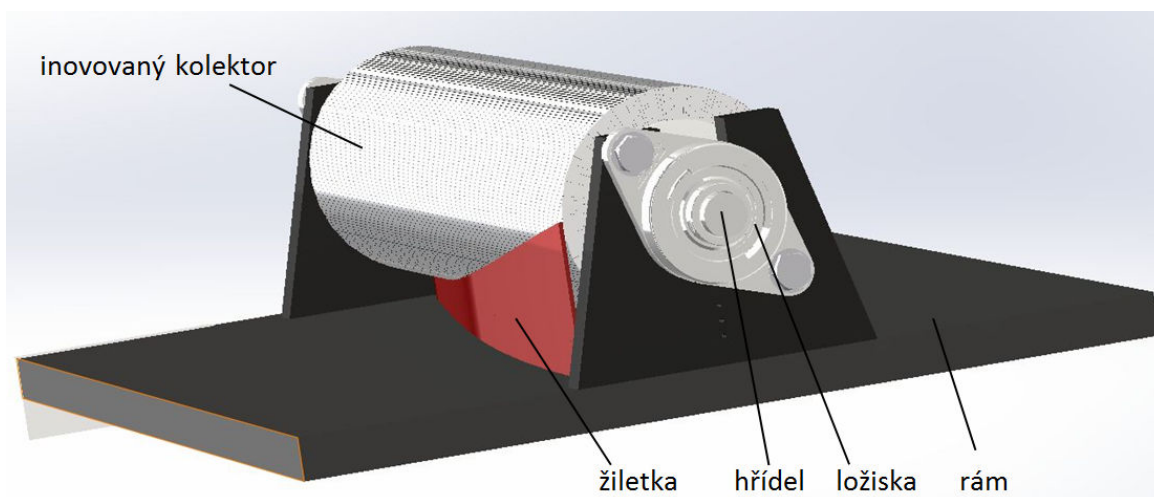


**Obr. 4.60** Detail štětin kartáče zalitých do pryskyřice

Tímto konstrukčním řešením **bude zabráněno nežádoucímu přílišnému zachytávání zvlákněného materiálu mezi štětinami kartáče.**

Následné snímání soudržné vrstvy zvlákněného materiálu z geometricky hladké válcové plochy povrchu kolektoru je již konvenčním technickým zadáním, které lze řešit např. odvodem vrstvy pomocí vodících a sběrného válce.

Dalšími návrhy řešení je např. foukání plynu ve směru tečném na kolektor v místě odvádění textilie, příp. využití systému s žiletkou (obr. 4.61).



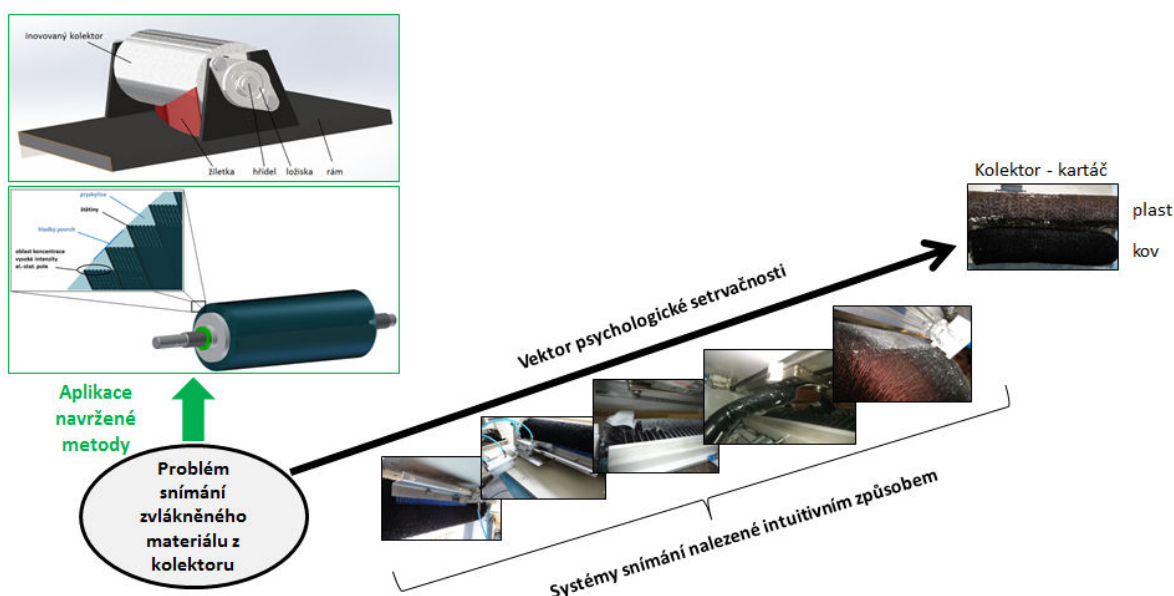
**Obr. 4.61** Sestava inovovaného kolektoru se snímacím prvkem

V současné době je připravována výroba funkčních vzorků inovovaného kolektoru pro testování navrženého řešení.

#### 4.6.4 Porovnání časové náročnosti nalezení řešení pomocí intuitivního přístupu a systematického přístupu TfE

Porovnáme-li časovou náročnost řešení dosažených intuitivním přístupem, resp. metodou pokus-omyl se systematickým přístupem TfE dojdeme k závěru, že využití systematického přístupu TfE eliminovalo rozpracování méně úspěšných návrhů řešení a nabídlo přijatelné řešení ve výrazně kratším čase. Řešení problému systematickým přístupem trvalo cca 1 týden, řešení metodou pokus-omyl mnoho měsíců.

Je zajímavé porovnat také charakter nalezených řešení. Sledujeme-li vývoj řady řešení nalezených intuitivním způsobem, resp. metodou pokus-omyl, vidíme, že nalezená řešení neopouští koncept kartáče se štětinami i přesto, že kořenovým (klíčovým) problémem systému je právě výskyt štětín na kartáči. Nalezená řešení vychází z tzv. *psychologické setrvačnosti*, kterou je řešitel „spoután“ a samovolně ji zpravidla nedokáže opustit. Nalezená řešení pak leží na tzv. *vektoru psychologické setrvačnosti* řešitele. Navržená metoda TfE využívá invenčních principů, které dokáží tento vektor psychologické setrvačnosti opustit (obr. 4.62) a nabídnout leckdy diametrálně odlišné funkční řešení.



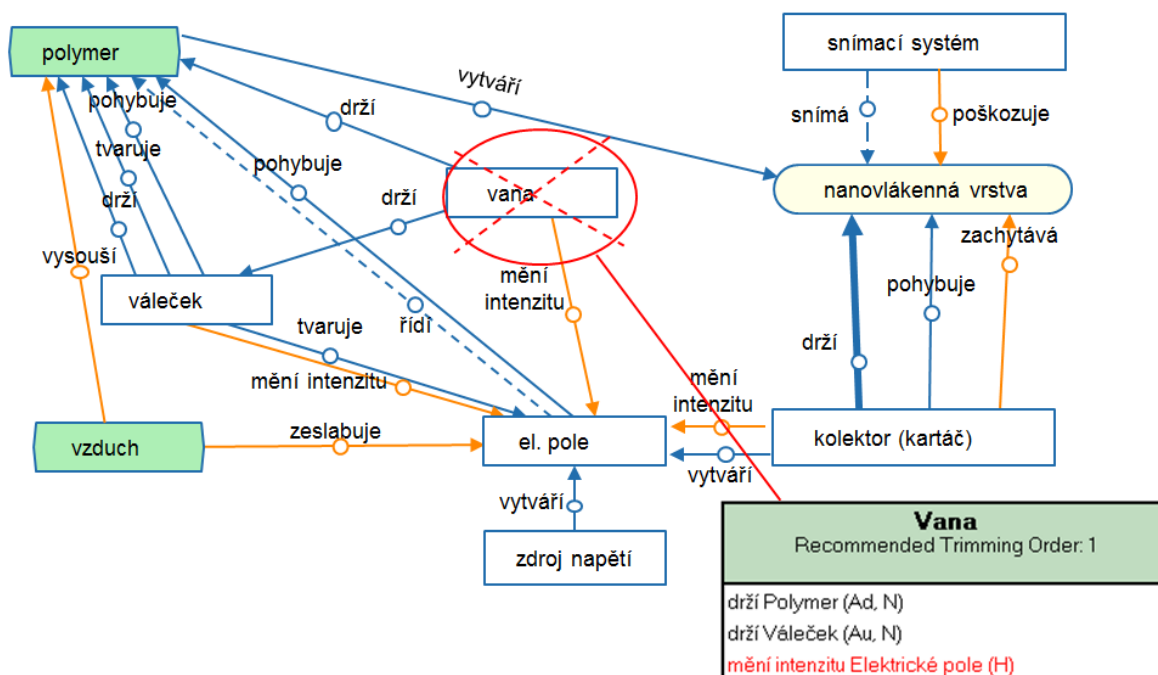
Obr. 4.62 Opuštění vektoru psychologické setrvačnosti při hledání řešení systematickým způsobem metodou TfE

#### 4.7 Studie možností zjednodušení technického systému

Zjednodušování technického systému prostřednictvím odstranění určité komponenty, či komponent z technického systému se obecně používá k eliminaci nákladů na výrobu, montáž, údržbu atd. dané komponenty. Zjednodušování technického systému eliminací určité komponenty se provádí pomocí nástroje *trimming*, představeném v podkapitole 3.9, kterému předchází provedení funkční analýzy. V algoritmu TfE (obr. 3.1) se nástroj *trimming* nachází na větvi IV.

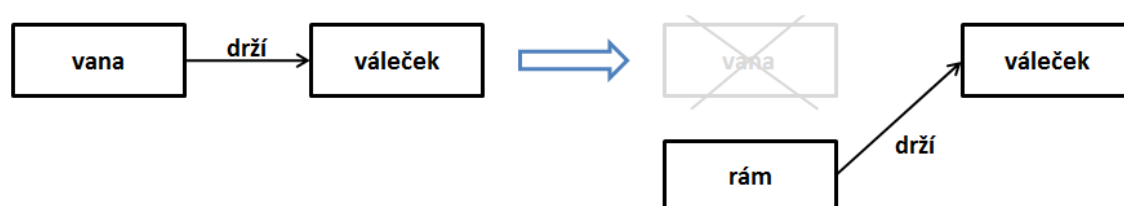
V této podkapitole uveďme úvahy možného zjednodušení technického systému Nanospider. Nejprve byla provedena funkční analýza s rozбором užitečných a škodlivých funkcí každé z komponent technického systému. Z rozboru funkcí se vhodnou

komponentou pro eliminaci jeví být vana (zásobník polymeru). Tento předpoklad byl ověřen také pomocí SW Navigator, který vyhodnotil vanu jako první komponentu k otrimmování (eliminaci), viz obr. 4.63.

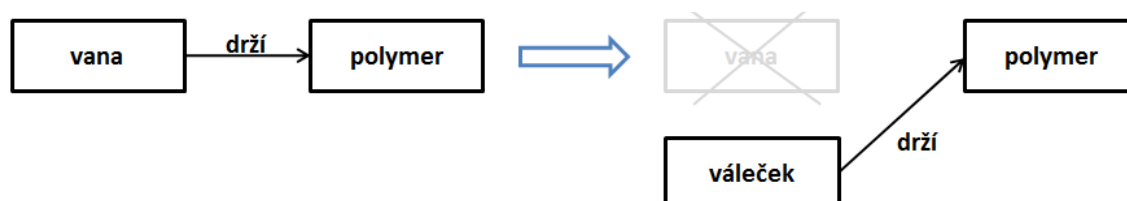


Obr. 4.63 Výběr komponenty pro potenciální eliminaci

Komponenta vana je nositelkou dvou užitečných funkcí (drží polymer a drží váleček). Tyto funkce je nutno zachovat. Pro zachování funkcí je nutno využít některého z pravidel trimmingu<sup>28</sup>. Vhodným pravidlem se ukazuje být pravidlo C, které říká, že komponenta technického systému může být trimmována (eliminována), pokud plnění funkcí přebírají **jiné komponenty** technického systému, nebo nadsystému. Návrhy možného delegování užitečných funkcí na ostatní komponenty technického systému jsou zachyceny na obr. 4.64 a 4.65.



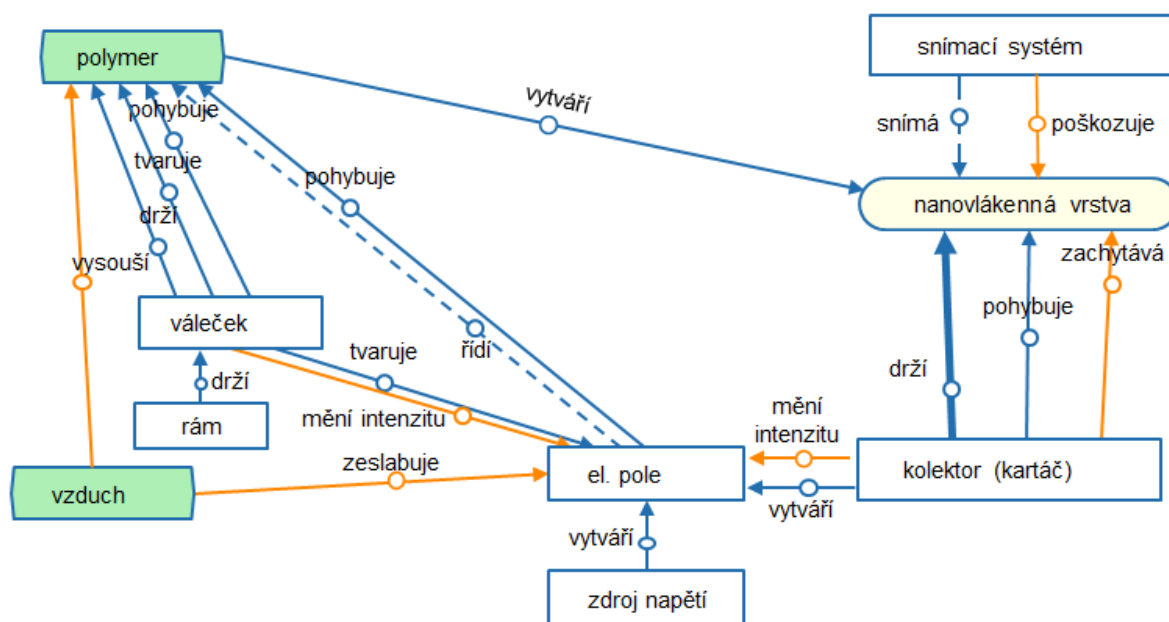
Obr. 4.64 Komponenta rám přebírá funkci „držet váleček“



Obr. 4.65 Komponenta váleček přebírá funkci „držet polymer“

<sup>28</sup> Viz podkapitola 3.9, obr. 3.40.

Realizace funkce „rám drží váleček“ je možno dosáhnout drobnou konstrukční úpravou uložení válečku v rámu. Komplikovanější je realizace funkce „váleček drží polymer“. Zvažována byla varianta axiálního přivádění roztoku polymeru do dutého válečku a následná distribuce polymerního roztoku dírkami v plášti válečku. Toto řešení by bylo konstrukčně přijatelné za předpokladu, že by se nejednalo o polymerní roztok, který rychle zasychá a lze předpokládat, že by docházelo k nežádoucímu zasychání polymerního roztoku v dírkách a zaslepení dírek. Dle metody TRIZ následuje zformulování sekundárního problému: „*jak zamezit zasychání polymerního roztoku v dírkách pláště válečku?*“ Pro takovou úlohu jsou vhodnými řešitelskými nástroji metody TRIZ databáze efektů, či funkčně orientované vyhledávání (FOS). Další rozpracování tohoto řešení je v současné době zvažováno. Funkční model technického systému Nanospider po trimmingu vany je uveden na obr. 4.66.



Obr. 4.66 Funkční model technického systému Nanospider po trimmingu vany

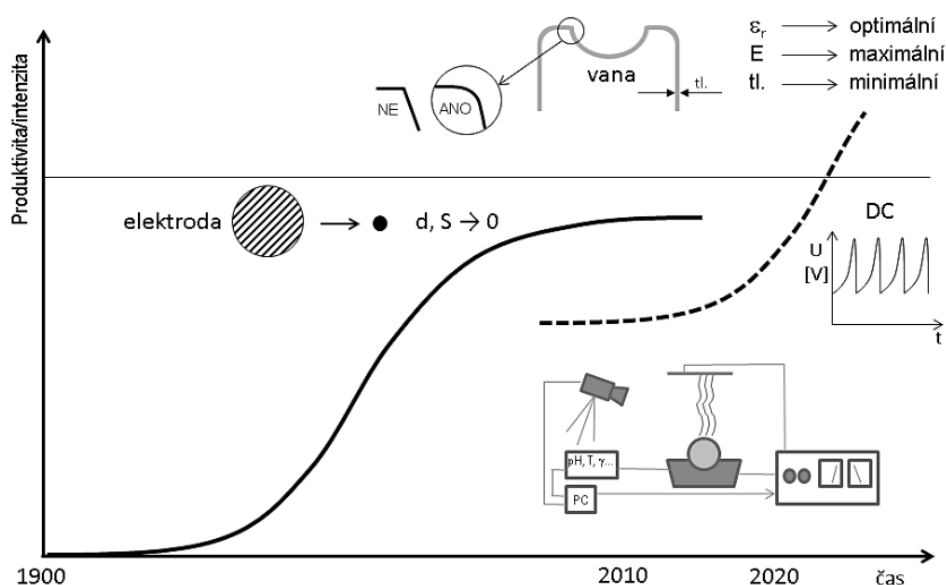
## 4.8 Prognóza směru dalšího vývoje

Poslední z větví algoritmu Tfe je větev *V* sloužící k nalezení nových principů zlepšování hlavní funkce technického systému prostřednictvím trendů evoluce technických systémů (TESE). Realizací výše popsanych úloh byl technický systém vylepšen ve smyslu:

- inovace zásobníku polymerního roztoku – optimalizace geometrie (odstranění hran, redukce hmoty) a materiálu (resp. relativní permitivity),
- optimalizace průměru elektrod (trend přechodu k elektrodám typu struna blízcích se bodovým, resp. lineárním zdrojům),
- optimalizace přívodem plynného média (systém s nosičem).

Při studiu trendů rozvoje technických systémů a rozboru daného technického systému se nabízejí další směry vývoje, vedoucí ke zvýšení efektivity zvláknovacího procesu, těmi mohou být (viz obr. 4.67):

- využití pulzujícího stejnosměrného napětí s vhodným průběhem, který zajistí dosažení krátkodobě vysoké intenzity pole, která však poklesne dříve, než dojde k výboji. Frekvence může být řízena tak, aby se bylo možné přizpůsobit konkrétním podmínkám zvlákňování. Tímto způsobem lze předpokládat zvýšení produktivity při současném snížení energetické náročnosti technologického procesu. (**Trend zvyšování dynamičnosti**).
- Řízení zvlákňovacího procesu se zpětnou vazbou na všech jeho úrovních založené na sledování průběhu vybraných procesních parametrů zařízení, vlastností zvlákňovaného polymeru, vytvářeného materiálu a zvlákňovacího procesu. [35] (**Trend zvyšování říditelnosti**).



**Obr. 4.67** S-křivka zachycující předpokládané směry dalšího vývoje [35]

## 4.9 Inovace přípravku přenosného kontaktního měřicího zařízení

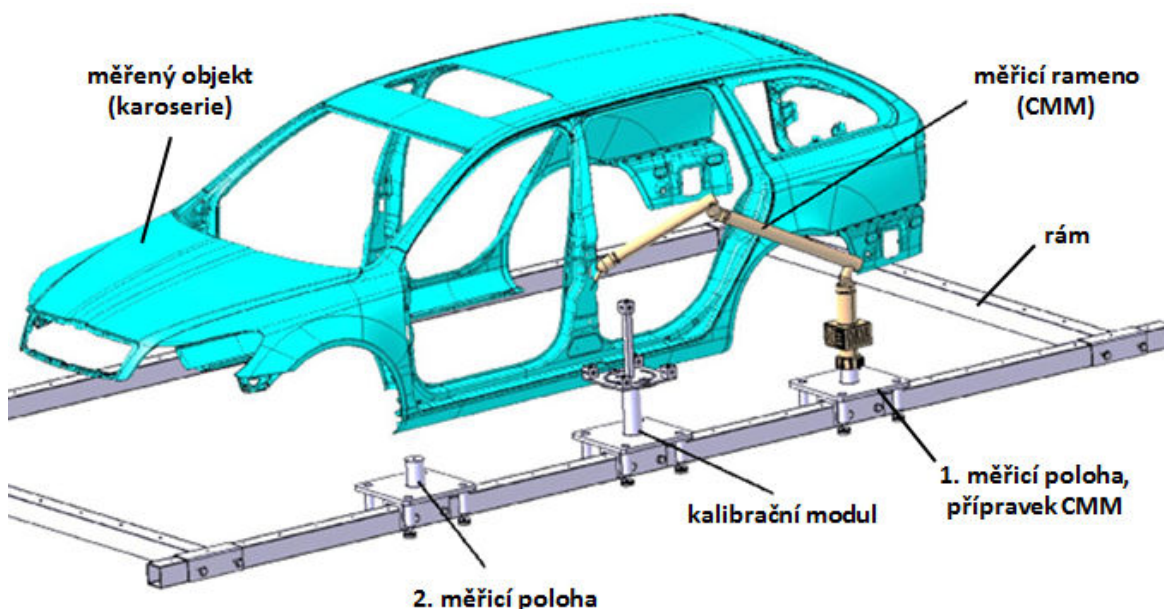
Předchozí řešená inovační zadání vycházela z odborné činnosti autora na KST FS TUL. V této podkapitole bude představeno uplatnění systematických metod řešení inovačních zadání, resp. vlastní metody Tfe **v autorově pedagogické činnosti**, konkrétně při vedení diplomových prací.

Cílem autorem vedené diplomové práce [125] bylo inovovat přípravek měřicího zařízení. Zadání bylo nejprve řešeno diplomantem intuitivním způsobem, kdy bylo nalezeno několik řešení nižšího inovačního charakteru. Následně bylo zadání řešeno systematickým způsobem a bylo nalezeno technicky kvalitnější a ekonomicky výhodnější konstrukční.

V této podkapitole bude představeno **srovnání kvality a ekonomické výhodnosti konstrukčních řešení**, ke kterým bylo dospěno „tradičním“ **intuitivním** přístupem s konstrukčním řešením, které bylo navrženo využitím nástrojů systematické kreativity zformulovaných do **vlastní metody Tfe**.

### 4.9.1 Popis původního konstrukčního řešení

Zadání vycházelo z potřeby Škoda Auto, a.s. snížit takt provádění rozměrových analýz karoserií vozů. Původní konstrukční řešení spočívalo v umístění přípravku s měřicím kontaktním ramenem fy. Romer na rám (viz obr. 4.68). Pro provedení měření celé karoserie bylo nezbytné několikrát opakovat cyklus demontáže přípravku s měřicím ramenem, jeho přemístění do požadované polohy, provedení montáže přípravku na rám, provedení kalibrace a samotného měření.



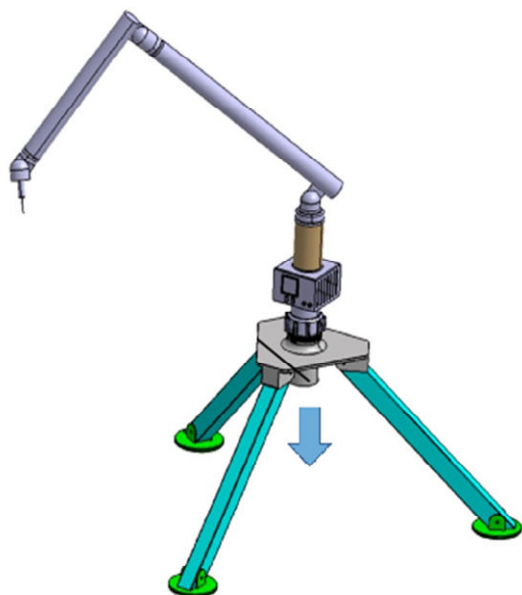
**Obr. 4.68** Původní konstrukční provedení – rámová konstrukce s přemístitelným přípravkem [125]

Značnou nevýhodou tohoto konstrukčního řešení byly relativně vysoké časové nároky na demontáž, přemístění, montáž a kalibraci přípravku s měřicím zařízením. Tento nevyhovující stav vedl k potřebě inovovat původní rámové konstrukční provedení.

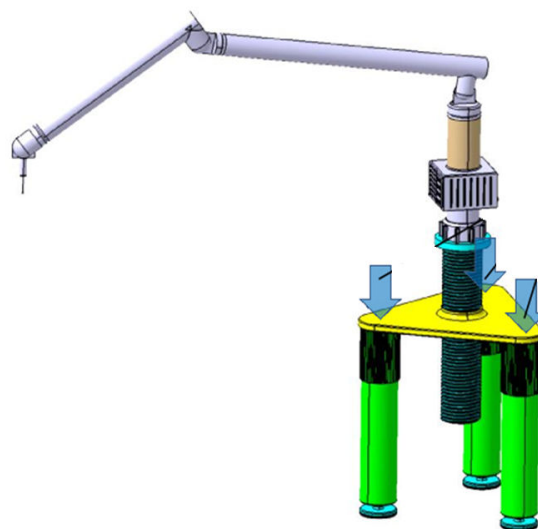


Zadavatel si dále kladl požadavek, že inovovaný systém musí využívat kontaktní způsob měření.

Bez užití systematického přístupu TfE byly intuitivně vygenerovány 4 konstrukční návrhy přípravku měřicího ramena, které opustily koncepci rámu (viz obr. 4.69).



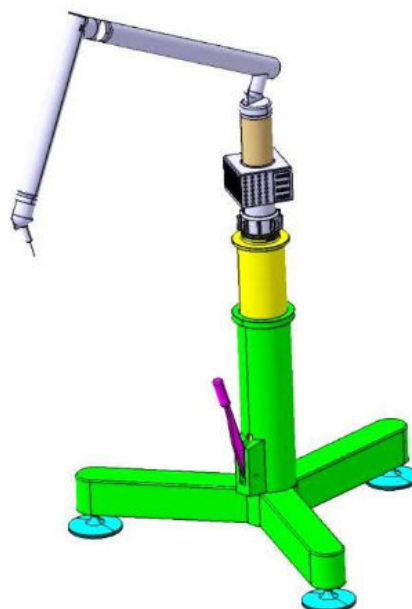
*a) koncept 1*



*b) koncept 2*



*c) koncept 3*



*d) koncept 4*

**Obr. 4.69** Intuitivně navržená konstrukční řešení přípravy měřicího zařízení [125]

Všechna intuitivně navržená řešení vycházejí z koncepce samostatného přemístitelného stojanu, jehož poloha bude lokalizována bezkontaktním zaměřovacím systémem. Modré šipky v obr. 4.69 u konceptů 1 a 2 znázorňují místa pro umístění závaží v průběhu měření za účelem zajištění stacionarity a stability přípravku.

Každý z konstrukčních návrhů vykazoval určité výhody a nevýhody, po jejichž posouzení byl za vítězný návrh zvolený k realizaci vybrán koncept č. 4. Ten je charakteristický robustním stojanem, který by měl zajišťovat stabilitu a stacionaritu přípravku s měřicím zařízením v průběhu měření a tím i spolehlivost měření. Nevýhodou tohoto konstrukčního řešení je obtížná manipulace při přesunu mezi měřicími místy a při polohování měřicího ramene v ose  $z$  (vysouvání z přípravku). Z toho důvodu byl tento koncept doplněn o pohony (krokové motory, hřebenový polohovací systém pro výsuv podvozku, šroubové polohovací zařízení) a podvozek pro zajištění snadné manipulace mezi měřicími polohami a snazší polohování v ose  $z$ . Tím ovšem došlo k nežádoucímu nárůstu složitosti celého systému i pořizovacích nákladů. Do tohoto bodu jsme se dostali intuitivním přístupem.

#### 4.9.2 Aplikace metody TfE ke zvýšení efektivity měřicího zařízení

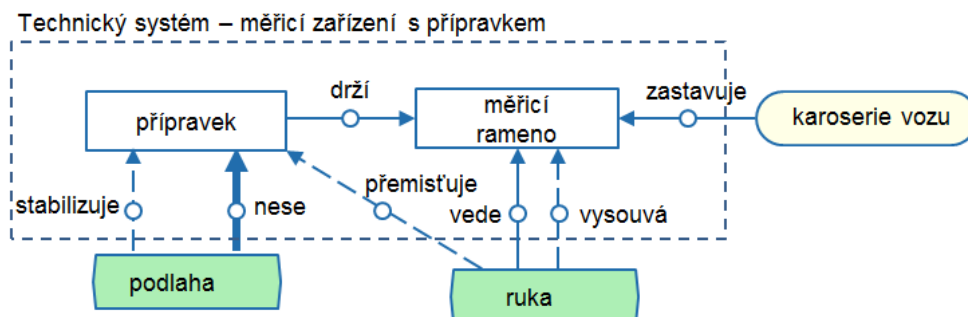
Pro nalezení efektivnějšího řešení konstrukce přípravku měřicího zařízení byly následně použity nástroje systematické kreativity ležící na větvi II vlastní metody TfE (viz obr. 4.54)<sup>29</sup>, kterými byl analyzován koncept č. 4 (robustní stojan bez pohonů).

Nejprve byla provedena analýza S-křivky, kde bylo zjištěno, že se technický systém nachází v první fázi S-křivky, cílem inovace je tedy zlepšování hlavních funkcí technického systému. Následovalo použití funkční analýzy pro identifikaci funkcí ke zlepšení, metody RCA+ pro identifikaci kořenových příčin, resp. rozporů. Ty byly následně řešeny separačními a invenčními principy. Jejich aplikace vedla k vygenerování zcela nového konceptu konstrukčního řešení.

#### 4.9.3 Identifikace problému současných řešení pomocí TfE

Pomocí **funkční analýzy** (obráz. 4.70) byly zformulovány následující nedostatky:

- **podlaha dostatečně nestabilizuje přípravek**, vlivem nestability (nestacionarity) může docházet k výskytu chyb měření,
- **obsluha nedokáže vynaložit dostatečnou sílu pro přemístění přípravku** (přípravek bez pohonu),
- **obsluha nedokáže vynaložit dostatečnou sílu pro polohování ramene v ose  $z$**  (přípravek bez pohonu).

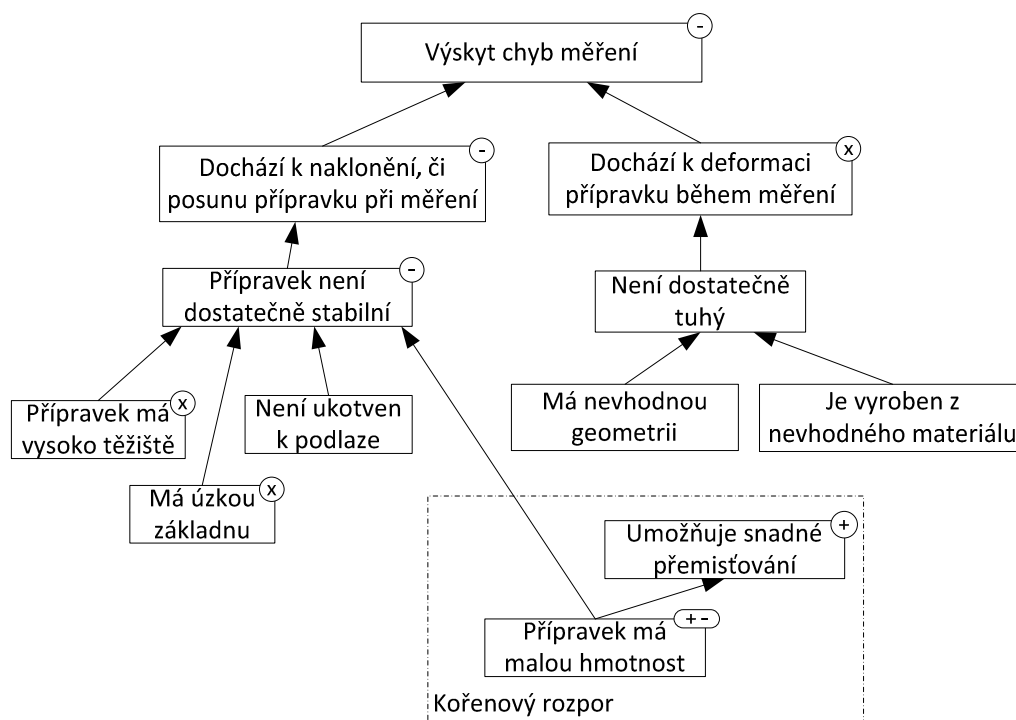


Obr. 4.70 Model funkcí měřicího zařízení (konceptu č. 4)

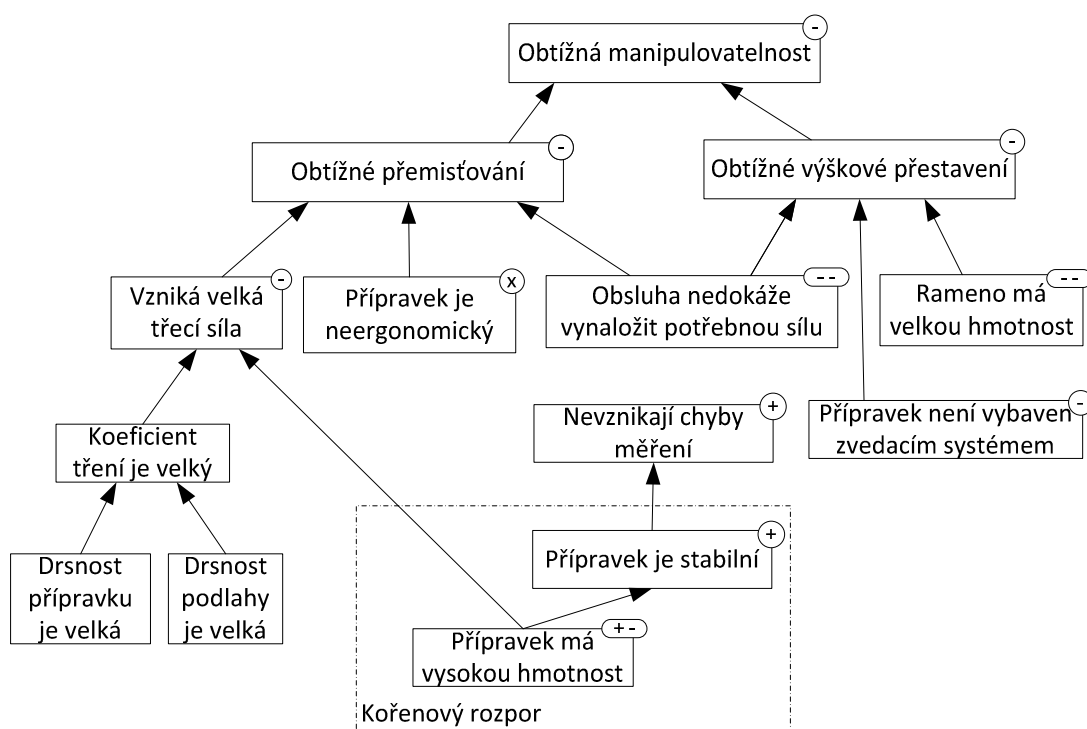
<sup>29</sup> Stejně nástroje byly použity pro úlohu inovace kolektoru typu kartáč.



Dále byla provedena **RCA+** analýza pro **stav měření** (obr. 4.71) a **stav manipulace** (obr. 4.72) pro definování všech potenciálních příčin nedostatečného plnění hlavních funkcí. Do řetězce RCA+ byly zahrnuty i hypotetické příčiny, ty jsou označeny x.



Obr. 4.71 RCA+ konceptu č. 4 – proces měření



Obr. 4.72 RCA+ konceptu č. 4 – proces manipulace

### Z řetězců RCA+ můžeme definovat tři technické jeden fyzikální rozpor:

- **Technický rozpor 1** - Problém chyb měření. Pokud přidáme přípravku materiál, pak dojde ke zlepšení stability přípravku a eliminaci chyb měření, ale dojde ke zvýšení hmotnosti přípravku a tím i zvýšené obtížnosti manipulace s přípravkem.
- **Technický rozpor 2** - Problém obtížného přemístění. Pokud přidáme podvozek a pohon, pak bude manipulace s přípravkem snadnější, ale zvýší se hmotnost a složitost přípravku.
- **Technický rozpor 3** – Problém obtížného polohování v ose z. Pokud přidáme pohon a polohovací systém, pak bude polohování v ose z pro obsluhu snazší, ale zvýší se hmotnost a složitost přípravku.
- **Fyzikální rozpor** (zahrnuje technický rozpor 1 a 2) - Přípravek **musí mít** velkou hmotnost pro zajištění stability při měření a **nesmí mít** velkou hmotnost pro zajištění snadné manipulace.

#### 4.9.4 Řešení technických rozporů pomocí invenčních principů

##### A) Problém nízké spolehlivosti měření vlivem nestability stojanu zařízení

###### 1) Definice problému

Problémem technického systému (měřicího zařízení) je výskyt chyb měření. Ty jsou způsobeny nestacionaritou podstavce měřicího zařízení v průběhu měření.

###### 2) Formulace technického rozporu ve tvaru „if-then-but“

Druhým krokem řešení technického rozporu je formulace technického rozporu ve tvaru „if-then-but“, viz tab. 4.13.

**Tab. 4.13** Formulace technického rozporu ve tvaru „if-then-but“

	<b>Technický rozpor – problém výskytu chyb v měření způsobených nestabilitou přípravku</b>
<b>IF</b> (pokud)	Přidáme materiál za účelem zvýšení stability podstavce zařízení.
<b>THEN</b> (pak)	Zařízení bude dostatečně stabilní a bude zabráněno nežádoucím pohybům v průběhu měření, které způsobují chyby v měření, resp. spolehlivost měření.
<b>BUT</b> (ale)	Hmotnost zařízení se zvýší, to je nežádoucí pro manipulaci se zařízením mezi měřicími polohami.

###### 3) Identifikace typických zlepšovaných a zhoršujících se parametrů dle matice technických rozporů

Třetím krokem je identifikace typických zlepšovaných a zhoršujících se parametrů dle matice technických rozporů, viz tab. 4.14.

**Tab. 4.14** Identifikace typických zlepšovaných a zhoršujících se parametrů

	<b>Specifický parametr</b>	<b>Typický parametr</b> (dle matice technických rozporů)
<b>Zlepšovaný parametr</b>	Spolehlivost měření	Spolehlivost (parametr č. 27)
<b>Zhoršující se parametr</b>	Hmotnost zařízení	Hmotnost nepohyblivého objektu (parametr č. 2)

#### 4) Nalezení invenčních principů pro překonání technických rozporů

Čtvrtým krokem je nalezení invenčních principů pro překonání technických rozporů v tabulce technických rozporů. Její část je uvedena v tab. 4.15.

**Tab. 4.15** Část matice technických rozporů

	<b>Typický zhoršující se parametr: 2. Hmotnost nepohyblivého objektu</b>
<b>Zlepšovaný parametr: 27. Spolehlivost</b>	Invenční principy č.: 3, 10, 8, 28

Doporučenými invenčními principy, jejichž aplikace by mohla vést k řešení technického rozporu, jsou principy č. 3, 10, 8, 28.

- **Princip č. 3 - Princip místní kvality (*Local Quality*)**

Tento princip doporučuje využít některého z následujících postupů:

- Přejít od stejnorodé k nestejnorodé struktuře objektu, vnějšího prostředí (rozdělení pruhů dálnice na rychlé a pomalé)
- **Přiřadit různým částem objektu různé funkce** (tužka s gumou)
- Zajistit každé části objektu nejvýhodnější podmínky pro její činnost (rozžhavený hrot s chladným držadlem pro ruku)

- **Princip č. 10 - Princip předběžného působení (*Preliminary Action*)**

Tento princip doporučuje využít některého z následujících postupů:

- **Provést potřebné působení na objekt úplně nebo částečně předem** k vykonání užitečné činnosti
- Umístit objekty předem tak, aby mohly být uvedeny v činnost z nejvýhodnějšího místa bez ztráty času

- **Princip č. 8 - Princip anti-tíže (*Anti-weight, Counterweight*)**

Tento princip doporučuje využít některého z následujících postupů:

- **Kompenzovat hmotnost objektu spojením s jiným objektem** zajišťujícím zvedání
- **Kompenzovat hmotnost objektu použitím aerodynamických, hydraulických, vztakových a dalších sil**

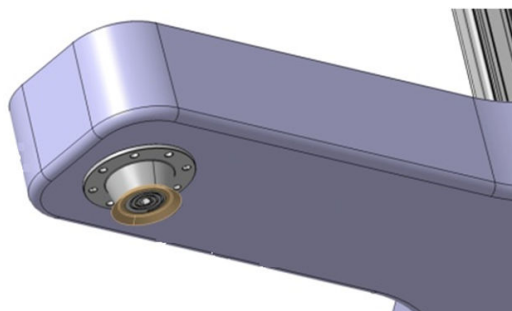
#### 5) Aplikace invenčních principů

V tab. 4.16 je uvedena interpretace obecných doporučení do podoby způsobu realizace.

**Tab. 4.16** Interpretace obecných doporučení – návrh způsobu realizace

<b>Vybraná obecná doporučení</b>	<b>Návrh způsobu realizace</b>
Přiřadit různým částem objektu různé funkce.	Část zařízení bude mít funkci ukotvení zařízení k podložce.
Provést potřebné působení na objekt předem.	<b>Před zahájením měření</b> zajistit ukotvení zařízení k podložce.
Kompenzovat hmotnost objektu použitím aerodynamických, hydraulických, vztakových a dalších sil.	Nízkou hmotnost objektu kompenzovat <b>podtlakovou silou</b> , která zajistí pevné spojení zařízení s podložkou.
Kompenzovat hmotnost objektu spojením s jiným objektem.	Připojit měřící zařízení k objektu (prvku) vytvářející podtlak.

Technické provedení uvedených návrhů realizace bylo provedeno pomocí podtlakových prvků umístěných na stojanu měřicího zařízení (obr. 4.73). Podtlak zajistí stabilizaci přípravku před zahájením měření.



a) podtlakové prvky na nohách přípravku



b) podtlakový prvek flip-pod [126]

**Obr. 4.73** Konstrukční řešení zajišťující stabilitu přípravku v průběhu měření zařízením

## B) Problém obtížné přemístitelnosti zařízení

### 1) Definice problému

Problémem technického systému (měřicího zařízení) je obtížná manipulovatelnost se zařízením při přemísťování mezi měřicími polohami.

### 2) Formulace technického rozporu ve tvaru „if-then-but“

Druhým krokem řešení technického rozporu je formulace technického rozporu ve tvaru „if-then-but“, viz tab. 4.17.

**Tab. 4.17** Formulace technického rozporu ve tvaru „if-then-but“

Technický rozpor – problém obtížné manipulovatelnosti	
<b>IF</b> (pokud)	přidáme pohon s koly, dojde k usnadnění manipulovatelnosti se zařízením
<b>THEN</b> (pak)	klesne síla potřebná pro přemístění zařízení. Operátor bude schopen přemístit zařízení.
<b>BUT</b> (ale)	dojde ke zvýšení hmotnosti zařízení
	dojde ke zvýšení složitosti zařízení

### 3) Identifikace typických zlepšovaných a zhoršujících se parametrů dle matice technických rozporů

Třetím krokem je identifikace typických zlepšovaných a zhoršujících se parametrů dle matice technických rozporů, viz tab. 4.18.

**Tab. 4.18** Identifikace typických zlepšovaných a zhoršujících se parametrů

	Specifický parametr	Typický parametr (dle matice technických rozporů)
<b>Zlepšovaný parametr</b>	Síla potřebná pro přemístění zařízení.	Síla (parametr č. 10)
<b>Zhoršující se parametr(y)</b>	Hmotnost zařízení	Hmotnost pohyblivého objektu (parametr č. 1)
	Složitost zařízení	Složitost zařízení (parametr č. 36)

#### 4) Nalezení invenčních principů pro překonání technických rozporů

Čtvrtým krokem je nalezení invenčních principů pro překonání technických rozporů v tabulce technických rozporů. Její část je uvedena v tab. 4.19.

**Tab. 4.19** Část matice technických rozporů

	Typické zhoršující se parametry	
	1. Hmotnost pohyblivého objektu	36. Složitost zařízení
<b>Zlepšovaný parametr:</b> <b>10. Síla</b>	Invenční principy č.: 8, 1, 37, 18	Invenční principy č.: 26, 30, 34, 36

Doporučenými invenčními principy, jejichž aplikace by mohla vést k řešení technického rozporu, jsou principy č. 8, 1, 37, 18, 26, 30, 34, 36.

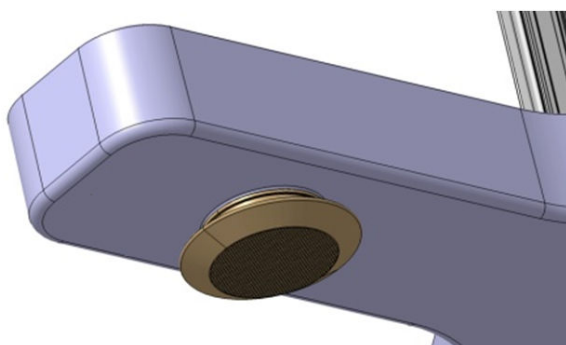
#### 5) Výběr vhodného invenčního principu

První z doporučovaných principů je **princip č. 8 - Anti-tíže**. Tento princip doporučuje využít některého z následujících postupů:

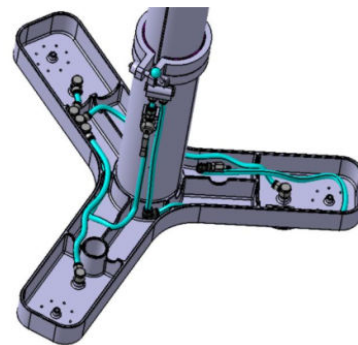
- **kompensovat hmotnost objektu spojením s jiným objektem zajišťujícím zvedání** (balon zvedne reklamní nápis)
- **kompensovat hmotnost objektu použitím aerodynamických, hydraulických, vztlakových a dalších sil** (křídla zvedají loď při jízdě z vody)

#### 6) Aplikace invenčního principu Anti-tíže pro usnadnění přemístění zařízení

Princip Anti-tíže doporučuje kompenzovat hmotnost zařízení spojením s jiným objektem, zajišťujícím zvedání či kompenzovat hmotnost zařízení použitím aerodynamických, hydraulických, vztlakových a dalších sil. Na základě tohoto doporučení byla provedena analýza komponent nadsystému, při které bylo zjištěno, že se v měřicí místnosti nachází rozvod tlakového vzduchu. Ten lze využít k získání potřebné aerodynamické síly zajišťující kompenzaci hmotnosti zařízení. Podlaha je v měřicí místnosti dostatečně hladká, proto se nabízí možnost využití transportních vaků na nohách přípravku, do kterých bude přiváděn tlakový vzduch (obr. 4.74). Vzduch unikající z mikro otvorů nadzvedne přípravek a usnadní tak manipulaci.



a) transportní vak s mikro otvory na nohách přípravku



b) rozvod tlakového vzduchu v přípravku

**Obr. 4.74** Konstrukční řešení umožňující snadnou manipulaci se zařízením

#### C) Problém obtížného polohování v ose z

Problém obtížného polohování byl opět řešen v šesti krocích pomocí procedury uvedené výše. Zde uvedme již jen shrnutí. Technický rozpor byl definován ve tvaru „if-then-but“ (tab. 4.20).

**Tab. 4.20** Formulace technického rozporu ve tvaru „if-then-but“

	Technický rozpor – problém obtížného polohování v ose z
<b>IF</b> (pokud)	přidáme pohon s polohovacím zařízením
<b>THEN</b> (pak)	klesne síla potřebná pro polohování
<b>BUT</b> (ale)	dojde ke zvýšení hmotnosti zařízení
	dojde ke zvýšení složitosti zařízení

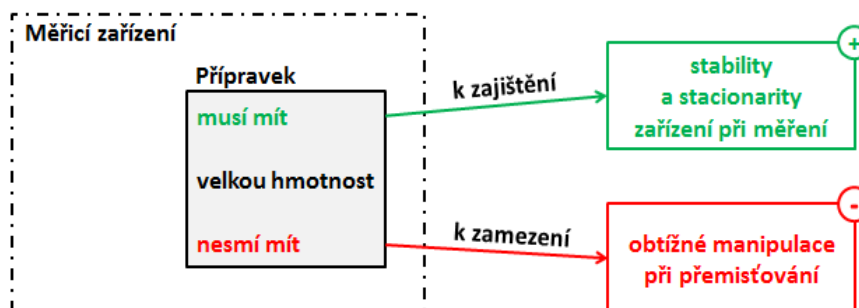
Zlepšováním parametrem je parametr síla (parametr č. 10), zhoršujícími se parametry jsou hmotnost pohyblivého objektu (parametr č. 1) a složitost zařízení (parametr č. 36). Mezi doporučovanými invenčními principy se opět nachází invenční **princip č. 8 – Anti-tíže**. Jeho realizaci lze provést opět pomocí tlakového vzduchu s využitím **pneumatického válce**, který bude zajišťovat **vysouvání a zasouvání** v ose z.

#### 4.9.5 Řešení fyzikálního rozporu separací v čase

Výše uvedený způsob řešení vedl na definování a řešení dvou technických rozporů. Úlohu lze řešit rovněž definováním a řešením fyzikálního rozporu.

**Fyzikální rozpor** lze definovat následovně:

**Měřicí zařízení** musí být dostatečně stabilní, resp. **musí mít dostatečně velkou hmotnost** pro zajištění stability při procesu měření, aby bylo zamezeno výskytu chyb v měření vlivem nestacionarity zařízení. Zároveň zařízení **musí mít malou hmotnost** pro zajištění snadné manipulace při přemísťování mezi měřicími polohami. Tento fyzikální rozpor je zachycen na obr. 4.75.

**Obr. 4.75** Model fyzikálního rozporu měřicího zařízení

Požadavek na protichůdné vlastnosti je vyžadován **v různém čase**, proto byl pro překonání fyzikálního rozporu zvolen separační princip – **separace v čase**. Pro řešení fyzikálního rozporu separací v čase jsou doporučovány následující invenční principy:

#### 9. Princip předběžného anti působení (*Preliminary Anti-Action*)

- Jestliže činnost vyvolává užitečné a škodlivé působení, **vykonat opačnou činnost předem**, aby se snížilo škodlivé působení.
- **Předem provést takové změny objektu, které zabezpečí, že nedojde k nepřipustným změnám, namáhání při provozu**

#### 10. Princip předběžného působení (*Preliminary Action*)

- **Provést potřebné působení na objekt** úplně nebo částečně **předem** k vykonání užitečné činnosti
- Umístit objekty předem tak, aby mohly být uvedeny v činnost z nejvýhodnějšího místa bez ztráty času

**15. Princip dynamičnosti (*Dynamics, Dynamization*)**

- Dovolit změnu charakteristik, vlastností objektu nebo vnějšího prostředí tak, aby v každé fázi procesu měly optimální hodnoty
- Rozdělit objekt na části, schopné pohybovat se jedna vůči druhé
- Je-li objekt nepohyblivý, nepružný, udělat jej pohyblivý, pružný, přizpůsobivý

**20. Princip plynulosti užitečného působení (*Continuity of Useful Action*)**

- Působit nepřetržitě bez přerušení, všechny části objektu musí pracovat s plným zatížením

Separace v čase na systémové úrovni může být doplněna separací v prostoru na úrovni subsystému. U této separace je doporučován invenční princip č. 29 - **Princip využití pneumatiky a hydrauliky** [32], který doporučuje: „Místo pevných částí objektu **použít kapaliny a plyny, nafukovací** nebo kapalinou plněné **polštáře** (pneumatiky, hydraulické zvedáky)“. Z výše uvedených doporučení se nabízejí způsoby realizace uvedené v tab. 4.21.

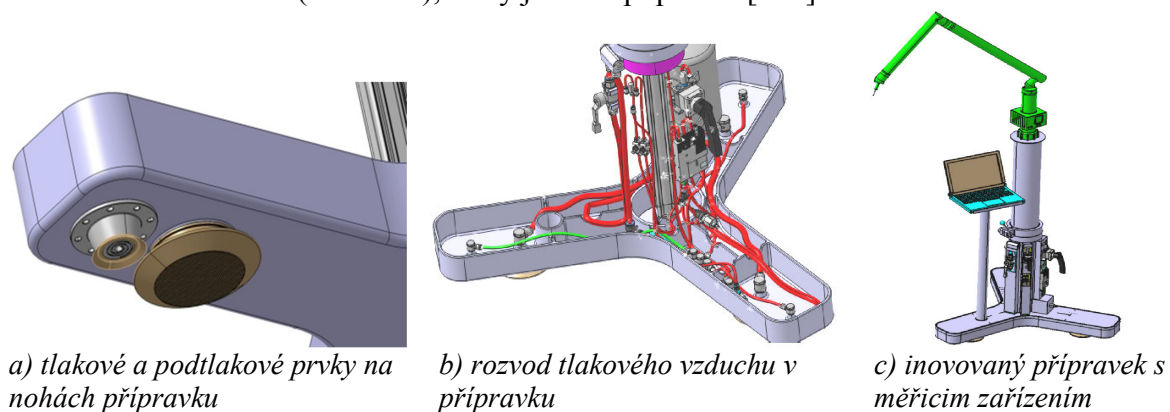
**Tab. 4.21** Interpretace obecných doporučení do podoby návrhu řešení

Vybraná obecná doporučení	Návrh způsobu realizace
<b>Použít kapaliny a plyny, nafukovací</b> nebo kapalinou plněné <b>polštáře</b> (pneumatiky, hydraulické zvedáky).	Použít vaky pro nadlehčení zařízení při jeho přemísťování.
Provést potřebné působení na objekt předem.	Před zahájením manipulace se zařízením spustit přívod tlakového vzduchu.
Jestliže činnost vyvolává užitečné a škodlivé působení, <b>vykonat opačnou činnost předem</b> , aby se snížilo škodlivé působení.	Před zahájením manipulace nadlehčit zařízení tlakovým vzduchem. Před zahájením měření ukotvit zařízení pomocí podtlakových prvků.

Z tab. 4.21 je zřejmé, že při řešení fyzikálního rozporu docházíme k velmi podobným doporučením a možným řešením, ke kterým jsme nezávisle došli také pomocí řešení technických rozporů. Požadovaný protichůdný požadavek na přípravek měřicího zařízení lze řešit tlakovými vaky (pro snadné přemístění) a přísavkami (pro zajištění stability a stacionarity) umístěných na nohách přípravku.

**4.9.6 Návrh řešení inovace přípravku měřicího zařízení**

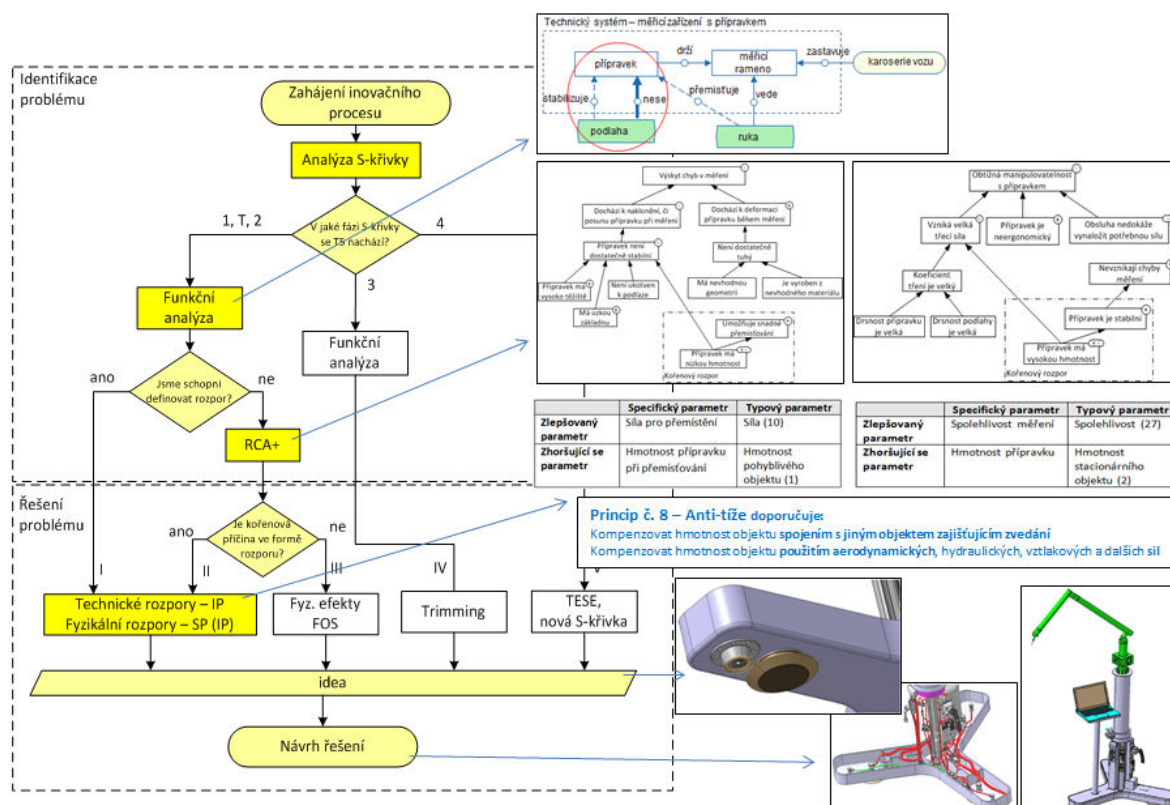
Výše uvedená idea využití tlakových a podtlakových prvků a sil byla rozpracována do konstrukčního návrhu (obr. 4.76), který je blíže popsán v [125].

**Obr. 4.76** Inovované konstrukční řešení zajišťující stabilitu přípravku při měření a umožňující snadnou manipulaci při přemísťování [125]



Uvedená inovace měřicího zařízení nabízí dle kalkulace zvýšení zisku měřicího střediska cca o 4mil.Kč/rok, tj. cca o 35%.

Tato úloha poukázala na rozdílnou kvalitu výsledků dosažených intuitivním a systematickým přístupem TfE (obr. 4.77). Lze konstatovat, že **konstrukčního řešení vyšší inovativní úrovně, efektivnějšího provedení, lepší funkčnosti a nižší pořizovací ceny** (o 40%) **bylo dosaženo systematickým přístupem** nežli intuitivním přístupem.



Obr. 4.77 Rekapitulace využití algoritmu TfE při inovaci přípravku měřicího zařízení

**Přínos** lze spatřovat také v **oblasti pedagogiky**, kdy si diplomant pod autorovým vedením osvojil nástroje systematické kreativity a společně s autorem našel kvalitativně lepší inovační řešení.



# KAPITOLA 5

## APLIKACE NÁSTROJŮ SYSTEMATICKÉ KREATIVITY V ÚDRŽBĚ STROJŮ A ZAŘÍZENÍ

Vedle zvyšování efektivity strojů a zařízení prostřednictvím jejich inovace je možno dosáhnout zvýšení celkové efektivity zařízení eliminací či redukcí ztrát v jejich provozu.

Významnou ztrátou jsou časové ztráty připadající na identifikaci a odstranění poruch strojů a zařízení, kterými se zabývá podniková údržba. Problematicke podnikové údržby, jež je samostatným oborem, jsou věnovány např. monografie [94-98].

Význam údržby strojů a zařízení stoupá úměrně s rostoucími nároky na stupeň jejich využití. Důsledně a důmyslně prováděná údržba technologických celků může výrazně snížit celkové provozní náklady a zároveň zvýšit produktivitu podniku. Ačkoliv mnoho lidí pohlíží na podnikovou údržbu pouze jako na zdroj nákladů, modernější přístupy naopak spatřují v podnikové údržbě zdroj zisku. Klíč k tomuto efektu spočívá v tzv. proaktivních formách údržby. Ty využívají nejenom detailní analýzu a kontrolu kořenových příčin poruch, ale i kreativitu pracovníků v údržbě využitou k zdokonalování strojů a technologických zařízení.

V současné době existuje poměrně zásadní rozpor mezi úrovní sofistikované techniky a dovednostmi (znalostmi) řešitelských metod využívaných pracovníky v podnikové údržbě, kde často převládají intuitivní způsoby řešení problémů a metodologie typu TRIZ jsou zcela neznámé [34].

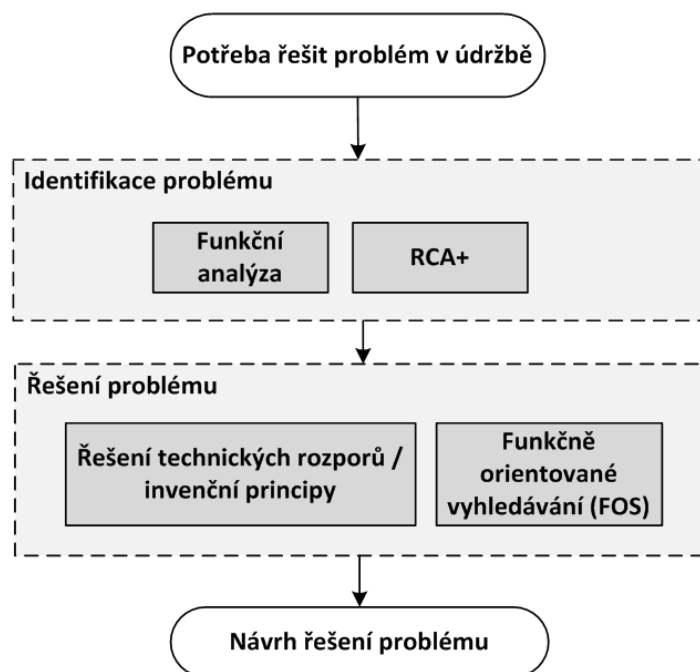
Z toho důvodu byl vytvořen přístup využívající nástrojů metody TRIZ v podnikové údržbě nazvaný **TRIZ for Maintenance (TfMt)**, který si klade za cíl poskytnout uchopitelné a zároveň sofistikované nástroje pro identifikaci a odstraňování poruch jakož i zlepšování technických systémů. Přístup TfMt je podpůrným přístupem pro metodu TfE v oblasti podnikové údržby se shodným cílem – zvyšovat efektivitu strojů a zařízení. Mezi nástroje přístupu TfMt (viz obr. 5.1) byly zařazeny:

- funkční analýza,
- příčinně-následkové řetězce (analýza kořenových příčin/rozporů RCA+),
- invenční principy pro řešení technických rozporů,
- funkčně orientované vyhledávání (FOS).

Identifikace a formulace problému pomocí funkční analýzy, či příčinně-následkového řetězce často nabízí také samotné řešení problému.

Je zřejmé, že podniková údržba je historicky zaměřena převážně na řešení událostních problémů, které lze vyřešit na základě důkladné analýzy příčin problému (příčinného

řetězce). Na základě rostoucích nároků na podnikovou údržbu však roste podíl tzv. cílových typů problémů (viz obr. 2.1), které s sebou přinášejí zvýšené nároky na kreativitu techniků a údržbářů.



**Obr. 5.1** Přístup *TRIZ for Maintenance* – TfMt

V této kapitole bude aplikace výše uvedených nástrojů TfMt demonstrována na dílčích příkladech z oblasti údržby strojů a zařízení při řešení cílových i událostních typů úloh.

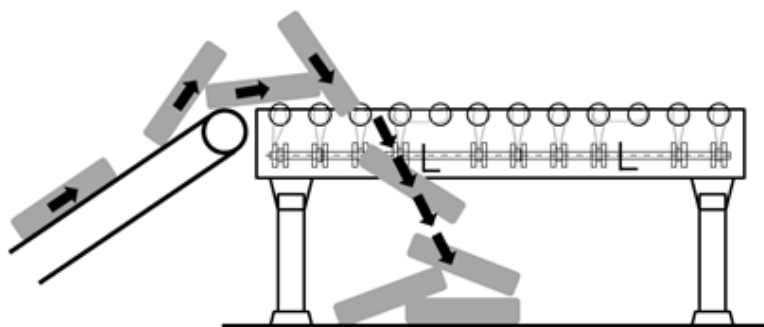
První z uvedených nástrojů přístupu TfMt je funkční analýza (FA), jejíž funkcí je identifikovat nežádoucí funkce (tj. škodlivé, užitečné nedostatečné a nadbytečné intenzity) mající negativní vliv na bezporuchový chod stroje či zařízení. Výstupy funkční analýzy vedou k řešení cílového typu úloh (tj. inovačních úloh). Využití funkční analýzy pro řešení cílových úloh již byla věnována dostatečná pozornost v předchozí kapitole.

Druhá z uvedených nástrojů přístupu TfMt je příčinně následkový řetězec RCA+, ten může být v oblasti údržby využit jak pro řešení cílových typů úloh (inovačních úloh), tak pro řešení úloh událostního typu (identifikaci abnormalit v chodu zařízení). Řešení tohoto typu úlohy pomocí nástroje RCA+ představuje následující příklad.

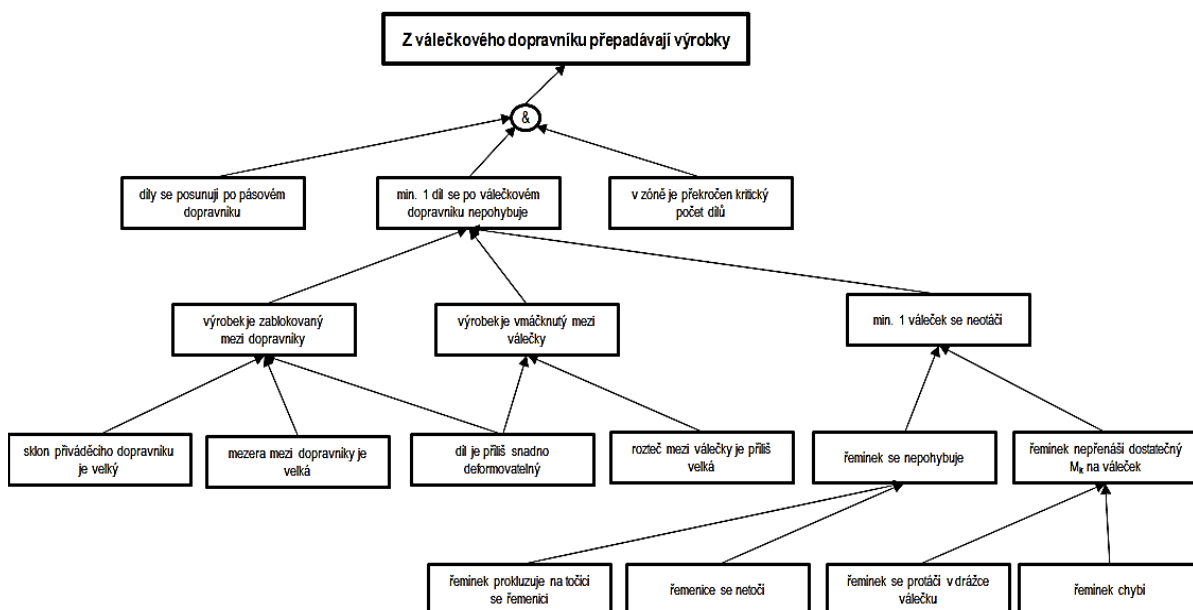
## 5.1 Aplikace příčinně-následkového řetězce na poruchy strojů a zařízení

Příklad aplikace příčinně-následkového řetězce na problematiku provozuschopnosti technických zařízení ukažme na případě analýzy opakované abnormality „padání výrobků“ z válečkových dopravníků transportního systému, viz obr. 5.2.

Na základě aplikace příčinně-následkového řetězce (viz obr. 5.3) byly odhaleny kořenové příčiny abnormalit spočívající v nevyhovujícím stavu řemínek majícím významný na chod dopravníků (viz obr. 5.4).



**Obr. 5.2** Schéma abnormality v provozu válečkového dopravníku [34]



**Obr. 5.3** Příčinný řetězec pro analýzu abnormality u válečkového dopravníku [34]



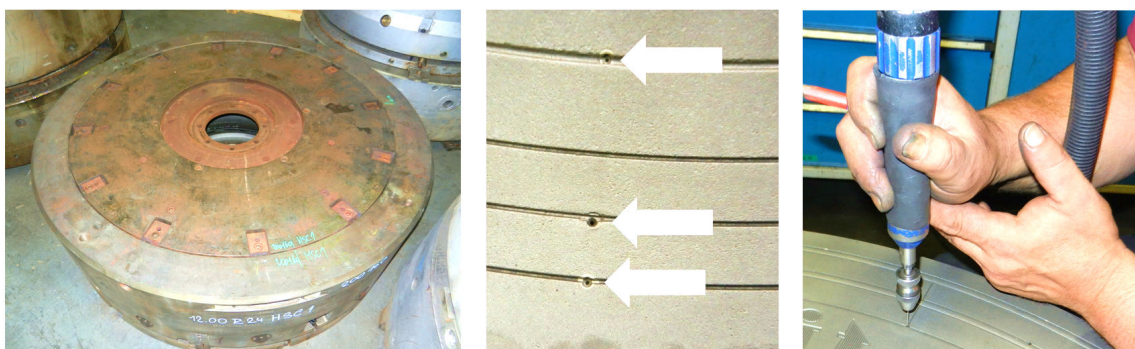
**Obr. 5.4** Příčiny abnormalit válečkového dopravníku [34]

Na tomto základě lze korigovat standardy plánované profesní údržby i standardy autonomní údržby a tím zredukovat výskyt této abnormality.

## 5.2 Aplikace funkčně-orientovaného vyhledávání v údržbě

Potřeba vyhledávání informací v kyberprostoru souvisí zejména z hlediska podnikové údržby s řešením problémů, souvisejících s realizací technických projektů či zlepšováním strojů (cílové problémy) nebo při hledání preventivního opatření ke specifickým poruchám či abnormalitám (událostní problémy). Aplikace funkčně orientovaného vyhledávání bude ukázána na příkladu údržby vulkanizačních forem.

Vulkanizace je nevratný chemický děj, při němž se gumárenská směs mění na pryž – vzniká struktura, v níž jsou jednotlivé elastomerní řetězce pospojovány přes můstky tvořené atomy síry, což materiálu propůjčuje potřebné fyzikálně-mechanické vlastnosti. K dosažení vulkanizace pomocí vulkanizačních forem je zpravidla nutné naplnit dutinu formy surovou směsí a udržet ji při konstantní teplotě určenou dobu. Pro naplnění dutiny se nejčastěji využívá volné vložení přesného množství směsi do otevřené formy a následné stlačení lisem. Konstrukce forem, zejména konstrukce jejich povrchu, je určující pro povrch pneumatiky, a především pak pro dezén. Vedle dezénových drážek jsou na formě ještě odvodušňovací trysky (viz obr. 5.5).



**Obr. 5.5** Vulkanizační forma a standardní způsob čištění odvodušňovacích trysek [34]

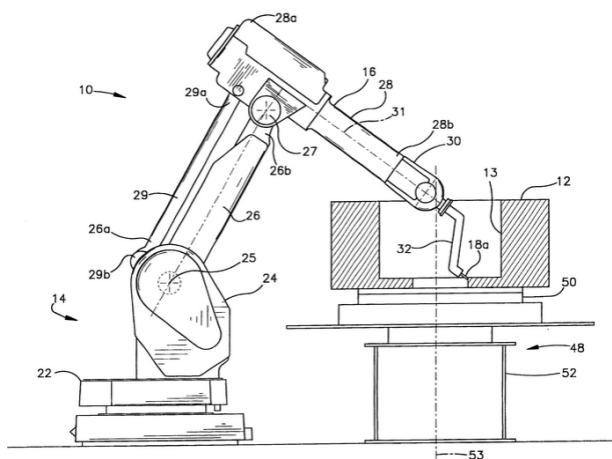
Těmito tenkými kapilárami jsou odváděny plynné vulkanizační zplodiny z vnitřních částí pláště tak, aby nedocházelo k uzavření vzduchu a následně k separacím. Aby děj proběhl správně, je nutné dodržet optimální podmínky pro vulkanizaci, a to jak z hlediska požadovaných vlastností, tak i z ekonomického hlediska. Zajistit (obnovit) dostatečnou čistotu jak povrchu, tak odvodušňovacích trysek, do kterých je při procesu vtačován materiál, je jednou ze zásadních aktivit údržby forem. Povrchy forem se čistí např. rozpouštědly, kartáči, tryskáním pískem nebo suchým ledem. V tomto případě jsou pevné pelety suchého ledu o teplotě  $-78^{\circ}\text{C}$  vystřelovány na znečištěný povrch. Nárazem se pelety přemění na plynný kysličník uhličitý a jejich objem se zvětší 700 krát. Tento proces způsobí, že znečištěné vrstvy zmrznou, smrští se, zkrěhnou a oddělí se od povrchu. Čištění odvodušňovacích trysek je standardně prováděno mechanicky pomocí odvrtání materiálu, který do trysek zatekl v nevulkanizovaném stavu. Při neplánovaném dosažení kritické úrovně znečištění povrchu či trysek dochází k zastavení výroby pomocí dané formy (obr. 5.5), k její demontáži, transportu do střediska údržby forem, chladnutí a provedení potřebných činností.

Je zřejmé, že pokud k potřebě formu vyčistit dojde neplánovaně, vznikají nemalé ztráty spojené s nevyužitím kapacit lisů, spotřebou personálních nákladů a zvýšením spotřeby energie na opětovný ohřev masivní formy. V případě plánovaného čištění forem jde zejména o spotřebu personálních nákladů na provedení činností diskutabilních z pohledu produktivity a ergonomie práce. Negativním efektem je i vytváření „vlasových přetoků“ na

obvodu zvulkanizovaného pláště, které se musí odstraňovat v rámci nadbytečných technologických operací na tzv. dokončovně.

Z výše uvedeného je zřejmé, že aktivity ve smyslu hledání levnějších a produktivnějších způsobů čištění od vzdušňovacích trysek je velmi aktuální téma.

Z hlediska snižování nákladů a zvyšování produktivity práce ve střediscích údržby forem se využívají postupy zaměřené na redukci či eliminaci manuální práce (viz obr. 5.6). Tyto postupy však neřeší eliminaci příčin znečištění povrchu forem či neprůchodnosti od vzdušňovacích trysek. [34]



**Obr. 5.6** Postupy redukující či eliminující manuální práci [99]

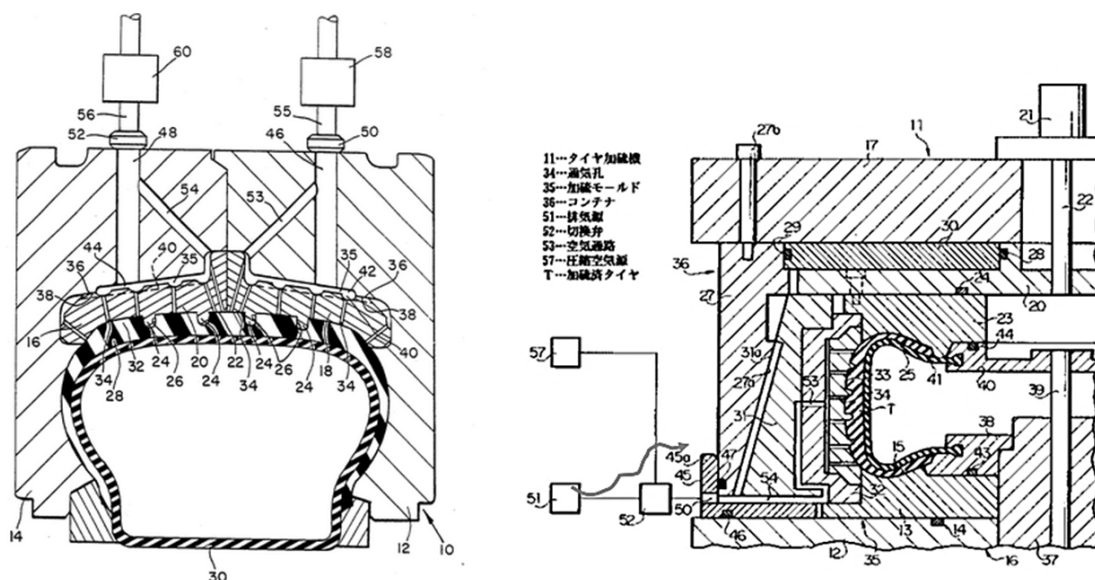
Je tedy vhodné se zabývat možnostmi, jak skutečně eliminovat příčiny vzniku víceprací a zbytečných nákladů. Pro tento účel může být využita metoda funkčně orientované vyhledávání (FOS), která se zabývá analogiemi a vyhledáváním možných řešení v jiných oblastech techniky. Shoda hlavní užitečné funkce v řešeném problému a v jiném oboru techniky znamená vždy možnost transferu řešení z jednoho oboru do druhého. Pro náš případ lze použít následnou generalizaci (zobecnění) hlavní užitečné funkce:

1. odstranit – materiál (z od vzdušňovacího otvoru vulkanizační formy),
2. čistit – od vzdušňovací otvor (vulkanizační formy),
3. čistit – otvor (s velmi malým průměrem),
4. čistit – dutinu (malý průměr, dlouhá).

Pro FOS je tedy možné využít generalizovanou funkci „odstranit materiál“ (clear up – material nebo remove – material) v místě: dlouhý a malý otvor. Parametrem pro vyhledávání je v našem případě produktivita. Při identifikaci oborů techniky (např. patentová třída B08B9 - čištění dutých předmětů), v kterých je plněna tato generalizovaná funkce můžeme zjistit, že to jsou obory jako např.:

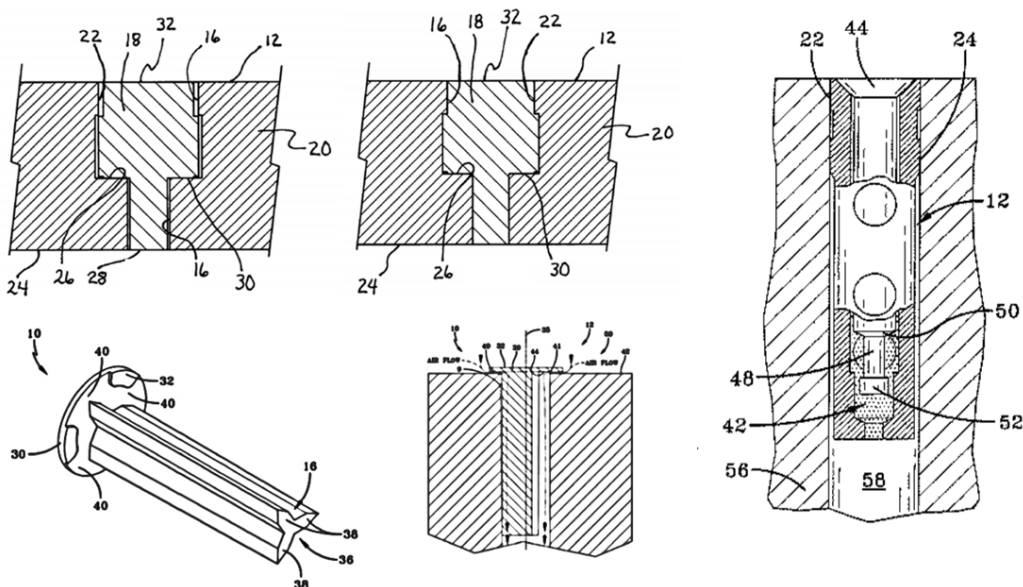
- armáda – hlavně, hadice,
- zdravotnictví – transfuzní přístroje, endoskopie,
- potravinářství – pivovary, mlékárny,
- vodárenství – studny, nádrže, potrubí, bazény, trubice,
- sanitární vybavení – potrubí, nádržky,
- domácí spotřebiče – pračky, myčky, kávovary, akvária,
- automotive – klimatizace apod.

Při transformaci inovačního problému na adaptační bylo provedeno funkčně orientované vyhledávání pomocí sémantických procesorů a specializovaného software. Při tomto vyhledávání byla použita generalizovaná funkce „čistit malou a dlouhou dutinu“. Jeden z nalezených směrů řešení vycházel z principů využívaného v potravinářství a mlékárenském průmyslu – kdy se do dutiny vpouští pod tlakem s předstihem a po určitou krátkou dobu inertní médium, které zabráni na samém začátku technologické operace „vtékání“ surového materiálu do dutin (viz obr. 5.7).



Obr. 5.7 Řešení využívající protitlak média v dutině [100]

Dalšími příklady aplikovanými v jiných oborech techniky jsou „aktivní zátky“, které využívají např. různou roztažnost základního materiálu a materiálu zátek (viz obr. 5.8). Efektem rozdílnosti fyzikálních vlastností objektů potom vzniká velmi malá dutina, do které nemůže materiál proniknout, ale funkce odvzdušňování je dostatečně plněna. [34]



Obr. 5.8 Řešení odvzdušňovacích trysek pomocí aktivních zátek [101-104]



### 5.3 Invenční principy v oblasti údržby strojů a zařízení

V podkapitole 3.5 byl představen způsob překonávání technických rozporů pomocí tabulky technických rozporů a 40 invenčních principů. Vzhledem zásadnímu významu invenčních principů pro moderní kreativní postupy byly invenční principy popsány s uvedením příkladů z oblasti údržby strojů a zařízení včetně, viz tab. 5.1.

**Tab. 5.1** Příklady aplikace invenčních principů v oblasti údržby strojů a zařízení [34]

Č.	Invenční princip	Definice	Příklady využití principů v oblasti údržby strojů a zařízení
1	segmentace	<ul style="list-style-type: none"> <li>rozdělit objekt na nezávislé části</li> <li>rozdělit objekt jako demontovatelný nebo odnímatelný</li> <li>zvýšit stupeň fragmentace objektu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>segmentace těsnících prvků</li> <li>rychlospojky</li> <li>modulární konstrukce prvků i strojů</li> </ul>
2	oddělení	<ul style="list-style-type: none"> <li>oddělit, separovat rušivé části nebo vlastnosti od objektu</li> <li>vyjmutí nezbytných nebo požadovaných částí nebo vlastností</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>umístění technických subsystémů pro účely údržby mimo výrobní zónu</li> <li>modely (řezy) pro trénink v údržbě</li> </ul>
3	lokální kvalita	<ul style="list-style-type: none"> <li>přejít od stejnorodé k nesterodové struktuře objektu, vnějšího prostředí</li> <li>přiřadit různým částem objektu různé funkce</li> <li>zajistit každé části objektu nejvýhodnější podmínky pro její činnost</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>bezúdržbové kluzné ložisko</li> <li>využití závitové vložky</li> <li>povlakování – ochrana proti korozi</li> </ul>
4	asymetrie	<ul style="list-style-type: none"> <li>změnit symetrické na asymetrické</li> <li>zvýšit stupeň asymetrie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>asymetrické ergonomické nástroje a nářadí</li> <li>asymetrické těsnící prvky</li> </ul>
5	sloučení	<ul style="list-style-type: none"> <li>sloučit podobné nebo související objekty v prostoru</li> <li>sloučit podobné nebo související operace v čase, udělat paralelní činnost</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>sdužené ruční nástroje</li> <li>autonomní údržba prováděná operátory ve výrobním procesu</li> </ul>
6	univerzálnost	<ul style="list-style-type: none"> <li>plnit více funkcí objektem, eliminovat potřebu dalších částí objektu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>univerzální multi-funkční nástroje</li> <li>široko-rozsahová maziva</li> <li>multiprofesní údržbáři</li> </ul>
7	jeden objekt ve druhém	<ul style="list-style-type: none"> <li>umístit jeden objekt uvnitř druhého, druhého do třetího atd.</li> <li>projít jedním objektem skrz druhý</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>teleskopické nástroje pro údržbu a opravy</li> <li>samo-navíjecí systémy</li> </ul>
8	anti-tíže	<ul style="list-style-type: none"> <li>kompensovat hmotnost objektu spojením s jiným objektem zajišťujícím zvedání</li> <li>kompensovat hmotnost objektu použitím aerodynamických, hydraulických, vztakových a dalších sil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>protizávaží u mobilního (de)montážního jeřábu</li> <li>využití kapilárního efektu při renovaci</li> </ul>
9	předběžné anti-působení	<ul style="list-style-type: none"> <li>jestliže činnost vyvolává užitečné a škodlivé působení, vykonat opačnou činnost předem, aby se snížilo škodlivé působení</li> <li>předem provést takové změny objektu, které zabezpečí, že nedojde k nepřijatelným změnám, namáhání při provozu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>maskování ploch při opravných náterech</li> <li>preventivní zamykání strojů a zařízení při odstávce (BOZP)</li> </ul>
10	předběžné působení	<ul style="list-style-type: none"> <li>provést potřebné působení objektu úplně nebo částečně předem k vykonání užitečné činnosti</li> <li>umístit objekty v předstihu tak, aby mohly být uvedeny v činnost z nejvýhodnějšího místa bez ztráty času</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>konzervace</li> <li>předehřev maziv</li> <li>předehřev formy před její výměnou</li> <li>rozmístění savých rohoží proti únikům</li> </ul>

11	předběžné tlumení	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kompenzovat nízkou životnost objektu pomocí předem zabudovaných havarijních prostředků</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ochranné bezpečnostní kryty proti únikům a výstřikům</li> <li>• záložní energetické zdroje</li> </ul>
12	ekvipotenciálnost	<ul style="list-style-type: none"> <li>• změnit podmínky práce tak, aby nebylo nutno objekt zbytečně či opakovaně zvedat nebo spouštět</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zvedací plošiny pro opravy</li> <li>• montážní jámy</li> </ul>
13	naopak	<ul style="list-style-type: none"> <li>• místo činnosti požadované podmínkami úlohy vykonat činnost opačnou</li> <li>• znehybnit pohybující se části objektu a rozpohybovat nepohyblivé části objektu</li> <li>• obrátit objekt vzhůru nohama</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• reverzní (vytahovací) kladivo</li> <li>• ochlazení vnitřního dílu místo ohřevu vnějšího</li> <li>• testování úniku látky z potrubí jeho ponořením do kapaliny (vznik bublin)</li> </ul>
14	sferoidálnost	<ul style="list-style-type: none"> <li>• přejít od přímek ke křivkám, od rovin ke sférickým plochám, od krychlí a kvádrů ke koulím</li> <li>• použít válečky, kuličky, spirály, kupole</li> <li>• přejít od přímočarého pohybu k rotačnímu</li> <li>• využít odstředivé síly</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• manipulační prostředky s válečky</li> <li>• manipulační prostředky s kulovými tělesy</li> </ul>
15	dynamičnost	<ul style="list-style-type: none"> <li>• dovolit změnu charakteristik, vlastností objektu nebo vnějšího prostředí tak, aby v každé fázi procesu měly optimální hodnoty</li> <li>• rozdělit objekt na části, schopné pohybovat se jedna vůči druhé</li> <li>• je-li objekt nepohyblivý, nepružný, udělat jej pohyblivý, pružný, přizpůsobivý</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• flexibilní (ohebné) nástroje</li> <li>• elastické přírubové spoje</li> <li>• pružné hadice</li> <li>• dynamické plánování v údržbě</li> </ul>
16	částečné nebo nadbytečné působení	<ul style="list-style-type: none"> <li>• jestliže je obtížné dosáhnout 100 % požadovaného efektu, snažit se dosáhnout „trochu méně“ nebo „trochu více“</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hrubovací operace</li> <li>• použití montážní pěny</li> </ul>
17	přechod na jiný rozměr	<ul style="list-style-type: none"> <li>• přejít od pohybu objektu po přímce k pohybu po ploše a prostoru</li> <li>• použít mnohopatrové kompozice objektu místo jednopatrové</li> <li>• naklonit objekt nebo jej položit na bok</li> <li>• využít obrácenou stranu ploch</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• polohovací zařízení pro opravu forem</li> <li>• vytahování plechu místo vyklepávání</li> </ul>
18	mechanické vibrace	<ul style="list-style-type: none"> <li>• uvést objekt do kmitavého pohybu</li> <li>• jestliže se uskutečňuje kmitavý pohyb, zvýšit jeho frekvenci</li> <li>• využít rezonanční frekvenci</li> <li>• použít ultrazvukové kmitání</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ultrazvukové čištění</li> <li>• příklepová vrtačka</li> <li>• vysušování pomocí mikrovln</li> </ul>
19	princip periodického působení	<ul style="list-style-type: none"> <li>• přejít od kontinuálního působení k periodickému (pulsnímu) působení</li> <li>• je-li působení již periodické, změnit jeho amplitudu nebo frekvenci</li> <li>• využít pauzy mezi impulsy k vykonání jiného užitečného působení</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• výstražné světlo při poruše</li> <li>• provádění opravy v době nabíjení baterií (vozíky, stroje)</li> </ul>
20	plynulé užitečné působení	<ul style="list-style-type: none"> <li>• působit nepřetržitě bez přerušení, všechny části objektu musí pracovat s plným zatížením</li> <li>• odstranit chody naprázdno a neproduktivní (přípravné) režimy</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• samo-čisticí se filtry a armatury</li> <li>• příprava a nákup materiálu na opravy s předstihem</li> </ul>
21	přeskok	<ul style="list-style-type: none"> <li>• provést proces nebo jeho jednotlivé části (škodlivé nebo nebezpečné) s velkou rychlostí</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• eskalační plány pro údržbu</li> <li>• demontáž provedená v rámci reakční doby</li> </ul>



22	změnit škodu v užitek	<ul style="list-style-type: none"> <li>využit škodlivé faktory k získání užitečného efektu</li> <li>odstranit škodlivý faktor jeho kombinací s jinými škodlivými faktory</li> <li>zesílit škodlivý faktor do takové intenzity, aby přestal být škodlivý</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>elektroerozivní obrábění náhradních dílů</li> <li>konvertor rzi</li> </ul>
23	zpětná vazba	<ul style="list-style-type: none"> <li>zavést zpětnou vazbu</li> <li>jestliže zpětná vazba již existuje - změnit ji nebo ji přizpůsobit okolním podmínkám</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>využití termostatů a senzorů</li> <li>rozpočet střediska údržby</li> </ul>
24	mediátor	<ul style="list-style-type: none"> <li>zavést objekt zprostředkující působení</li> <li>dočasně připojit objekt, který zmizí nebo je snadno odstranitelný</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>maziva snižující tření</li> <li>zvýšení adheze mezi šroubovákem a šroubem pomocí krystalů v kapalině</li> </ul>
25	samo-obslužnost	<ul style="list-style-type: none"> <li>objekt vykonává obslužné, pomocné i opravné operace sám</li> <li>využit odpadní zdroje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>samo-centrující se pneumatické nářadí</li> <li>stroje s integrovanou diagnostikou</li> </ul>
26	kopie	<ul style="list-style-type: none"> <li>místo nedostupného, křehkého, složitého, drahého objektu využít jeho lacinou, jednoduchou kopii</li> <li>nahradit objekt jeho optickou kopií</li> <li>jestliže jsou používány optické kopie, přejít k infračerveným nebo ultrafialovým kopiím</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>simulátory pro údržbáře</li> <li>fotografie a modely strojů a zařízení</li> <li>využití infračervené kamery</li> <li>video-přenos z místa poruchy</li> </ul>
27	použití levných jednorázových materiálů	<ul style="list-style-type: none"> <li>nahradit drahý objekt souborem laciných objektů a vzdát se při tom zajištění některých kvalit - trvanlivosti, opakovatelnosti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>jednorázové obleky na provozní čištění</li> <li>jednorázové utěrky na čištění</li> </ul>
28	náhrada mechanického působení	<ul style="list-style-type: none"> <li>nahradit mechanické prostředky senzory optickými, akustickými, tepelnými, čichovými</li> <li>užití elektrických, magnetických a elektromagnetických polí k působení na objekt</li> <li>nahradit statická pole dynamickými</li> <li>použití polí ve spojení s fero-magnetickými částicemi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>využití laseru pro prostorové vyrovnání komponent při jejich montáži</li> <li>využití ultrazvukových senzorů pro kontrolu zásobníků s olejem nebo pro identifikaci úniků</li> <li>virtuální realita</li> </ul>
29	použití pneumatiky a hydrauliky	<ul style="list-style-type: none"> <li>místo pevných částí objektu použít kapaliny a plyny, nafukovací nebo kapalinou plněné polštáře</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>hydraulické zvedáky</li> <li>pneumatické pružiny pro manipulaci se stroji</li> </ul>
30	pružné, tenké vrstvy	<ul style="list-style-type: none"> <li>místo tuhých konstrukcí použít pružné skořepiny a tenké vrstvy</li> <li>izolovat objekt od prostředí pružnými a tenkými vrstvami</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>testování úniků pomocí bublin</li> <li>využití mobilních clon</li> </ul>
31	porézní materiály	<ul style="list-style-type: none"> <li>udělat objekt pórovitý nebo doplnit pórovité části</li> <li>je-li objekt pórovitý, zaplnit póry látkou</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>využití filtrů</li> <li>využití samomazných ložisek</li> </ul>
32	změna barvy, optických vlastností	<ul style="list-style-type: none"> <li>změnit zabarvení objektu, jeho částí nebo vnějšího prostředí</li> <li>změnit stupeň průhlednosti objektu nebo vnějšího prostředí</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>světlé povrchy strojů pro identifikaci znečištění a úniků</li> <li>penetrační látky zviditelňující úniky</li> <li>průzory pro inspekci strojů</li> </ul>
33	homogenita	<ul style="list-style-type: none"> <li>vytvořit další objekt vzájemně působící s objektem, ze stejného materiálu nebo materiálu s podobnými vlastnostmi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>sdílení dat výroba - údržba</li> </ul>
34	odhození a regenerace	<ul style="list-style-type: none"> <li>odhodit, vypařit, rozpustit objekt, který splnil funkci v pracovním procesu a stal se zbytečným</li> <li>obnovit (o/s)potřebované části během procesu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>čistící rozpouštědlo na bázi citrusů</li> <li>samoostřící se nože</li> </ul>

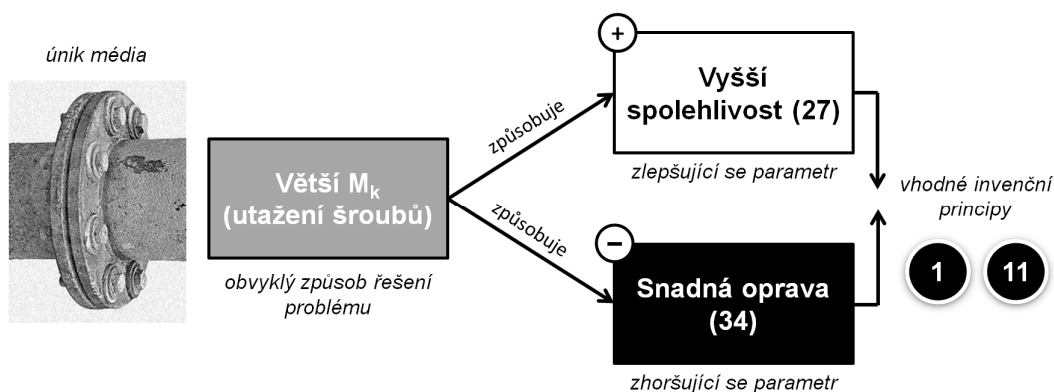
35	změna fyzikálně-chemických parametrů	<ul style="list-style-type: none"> <li>• změnit fázový stav - pevný, kapalný, plyný</li> <li>• změnit koncentraci nebo hustotu</li> <li>• změnit stupeň pružnosti, elasticity</li> <li>• změnit teplotu, tlak a další parametry</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• použití tekutého těsnění</li> <li>• koncentrované čisticí prostředky</li> <li>• použití tlumičů v rozvodech tlakového vzduchu</li> </ul>
36	fázový přechod	<ul style="list-style-type: none"> <li>• využít efekty vznikající při přechodech mezi fázemi - změna objemu, uvolnění tepla atd.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• přechod z analogového měření parametrů stroje na digitální formu</li> </ul>
37	tepelná roztažnost	<ul style="list-style-type: none"> <li>• využít teplotní roztažnost nebo smršťování materiálů</li> <li>• použít několik materiálů s různým koeficientem teplotní roztažnosti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• indukční ohřev ložisek při (de)montáži</li> </ul>
38	silná oxidace	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nahradit vzduch vzduchem obohaceným o kyslík</li> <li>• použít čistý kyslík</li> <li>• působit na vzduch nebo kyslík ionizujícím zářením</li> <li>• použít kyslík obohacený ozónem nebo nahradit obohacený kyslík ozónem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kyslík v dýchacích přístrojích</li> <li>• kyslík s acetylenem k řezání a tavení kovů s vysokým bodem tání</li> </ul>
39	inertní atmosféra	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nahradit normální prostředí inertním</li> <li>• přidat neutrální látky nebo části do objektu</li> <li>• uskutečnit proces ve vakuu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• navařování v ochranné atmosféře</li> <li>• izolace hluku od strojů pomocí pěny</li> </ul>
40	kompozitní materiály	<ul style="list-style-type: none"> <li>• přejít od homogenní (stejnorodé) struktury materiálů ke složené struktuře, vytvořené z více částí nebo vrstev, kde části plní různé funkce</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• povlaky TiN, TiCN, CrN</li> <li>• ložiska s kompozitem</li> </ul>

## 5.4 Překonávání technických rozporů v údržbě strojů a zařízení

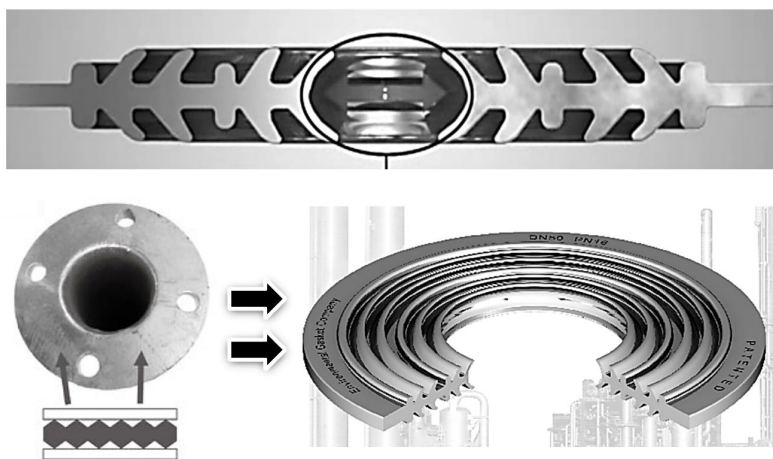
Ukažme použití tabulky překonání technických rozporů (viz příloha 3) na příkladu souvisejícím s únikem média z přírubového spoje. V levém sloupci tabulky najdeme standardní parametr, který je nezbytné změnit. V daném případě je vhodným standardním parametrem např. „vyšší *spolehlivost*“ spoje (řádek 27). V horním řádku tabulky vyhledáme standardní parametr, který se zhorší, pokud se použijí běžné způsoby řešení problému. Pro případ utažení šroubových spojů (zvětšení *Mk*) se zhorší standardní parametr „*snadná oprava*“ (sloupec 34). Na průsečíku vybraného řádku a sloupce nalezneme doporučené principy (heuristiky), jak uvedený rozpor překonat. V našem případě to jsou principy, viz obr. 5.9:

- invenční princip č. 1: *segmentace*
- invenční princip č. 11: *předběžné tlumení*.

V souladu s principem č. 1 je třeba „rozdělit objekt na nezávislé části nebo zvýšit stupeň segmentace objektu“. Příkladem využití tohoto invenčního principu je např. inovovaný a patentovaný typ těsnění (viz obr. 5.10). Toto řešení zajišťuje křivkový kontakt mezi těsněním a přírubami. Toto těsnění je, v porovnání s tradičními tvary, schopno zajistit lepší těsnicí vlastnosti. Žebra těsnění se formují do tvaru „mostu“ i po stlačení a vytváří i v tomto případě souvislý těsnicí povrch. Jednotlivá žebra těsnění mají tendenci se „otevírat“ pod tlakem média a snížit tak jeho úniky.



**Obr. 5.9** Model technického rozporu a vhodné invenční principy pro případ „únik média“ [34]



**Obr. 5.10** Aplikace principu č. 1 (segmentace) na tvar těsnění [105]

Princip č. 11 doporučuje „kompenzovat nízkou spolehlivost (životnost) objektu pomocí předem zabudovaných havarijních prostředků“. Jako příklad využití tohoto principu můžeme zmínit např. prostředky pro ochranu před únikem a postřikem z přírubových spojů (obr. 5.11). Ochranné kryty spojů se používají k prevenci zranění osob nebo poškození zařízení v případě úniku nebo vystříknutí kyselin, žiravin, chlóru a jiných nebezpečných kapalin z potrubních spojů (příruby, ventily nebo dilatační spáry). Bezpečnostní kryty přírubových spojů jsou zpravidla vyrobeny z PTFE, polypropylenu, PVC, polyetylenu a nerezové oceli. [34]



**Obr. 5.11** Aplikace principu č. 11 (předběžné tlumení) pro přírubový spoj a únik média [106]

# KAPITOLA 6

## ZÁVĚR

Habilitační práce byla vypracována na téma „*Nástroje systematické kreativity ke zvyšování efektivity strojů a zařízení*“. Téma práce vychází z identifikovaných potřeb oboru konstrukce strojů a zařízení a navazuje na autorovu předchozí odbornou činnost. Autor si v práci vytyčil dva vzájemně se doplňující hlavní cíle.

Prvním hlavním cílem předkládané práce bylo **vytvořit metodu zvyšování efektivity strojů a zařízení využívající nástroje systematické kreativity**, resp. nástroje metody TRIZplus tak, aby byla uživatelsky přístupná širší základně konstruktérů a řešitelů inovačních úloh. Tento cíl má nadoborový charakter, kdy lze vytvořenou metodu použít v zobecněné podobě pro řešení rozličných inovačních úloh.

Druhým hlavním cílem práce bylo **poskytnout specifické poznatky ze zvyšování efektivity zařízení na výrobu nanovláken** procesem elektrostatického zvláknování z volné hladiny polymerního roztoku.

### 6.1 Závěry práce

Závěry související s naplněním prvního hlavního cíle (**vytvoření metody zvyšování efektivity strojů a zařízení využívající nástroje systematické kreativity**) a jeho dílčích cílů lze shrnout do následujících bodů:

- **Rozbor současného stavu** ukázal, že při řešení inovačních úloh vedoucích ke zvýšení efektivity strojů a zařízení stále převládají méně sofistikované a systematické přístupy, jakými jsou intuitivní přístup, metoda „pokus-omyl“ či konvenční metody kreativity, jež nemají oporu v obecných zákonitostech rozvoje technických systémů.
- Značný inovační potenciál skýtá silná, odbornou veřejností respektovaná, systematická metoda **TRIZ**, která vychází ze zákonitostí rozvoje technických systémů. Výrazná nevýhoda této metody spočívá v její přílišné složitosti, jež zabraňuje jejímu využití širší základnou techniků, kteří by ji dokázali efektivně využívat. Provedený rozbor poukazuje na potřebu vytvoření zjednodušené metody vycházející z metody TRIZ.
- **Byl sestaven vlastní algoritmus** nazvaný **TRIZ for Efficiency (TfE)** určený k inovaci technických systémů, resp. zvyšování efektivity strojů a zařízení (kap. 3). Algoritmus TfE využívá nástrojů metody TRIZplus pro zformulování inovačního zadání (analýza S-křivky technického systému, funkční analýza, analýza příčinně-

následkových řetězců) a řešení inovačních zadání (řešení technických rozporů pomocí invenčních principů, řešení fyzikálních rozporů pomocí separačních principů, databáze efektů, funkčně orientované vyhledávání, trimming, trendy rozvoje technických systémů).

- Vytvořený algoritmus Tfe:
  - **poskytuje systematický přístup** k řešení inovačních úloh,
  - **využívá nástroje systematické kreativity** vycházející ze zákonitostí rozvoje technických systémů,
  - nabízí řešení mimo *vektor psychologické setrvačnosti*,
  - je ve srovnání s metodami TRIZ a ARIZ jednodušší a v ucelené podobě **osvojitelný v rozsahu časové dotace jednosemestrálního předmětu**,
  - nemá konkurovat robustní metodě TRIZ či pokročilemu algoritmu ARIZ, ale doplňovat je ve smyslu umožnění širší odborné veřejnosti využívat systematických kreativních postupů při řešení inovačních úloh.
  - lze prakticky využít díky úplnému popisu jednotlivých nástrojů algoritmu,
  - vede řešitele od nejasné problémové situace, přes důslednou specifikaci inovačního zadání po poskytnutí návrhů řešení,
  - spadá do skupiny metod systematické kreativity, pomáhá řešit inovační úlohu, stejně jako metoda TRIZ nezbavuje řešitele nutnosti myslet, algoritmus není deterministický,
  - má **nadoborový charakter**, lze jej využít k formulaci a hledání řešení inovačních úloh z různých technických oblastí,
  - nabízí možnost systematického řešení inovačních úloh při inovaci výrobků také z oblasti spotřebního zboží vyráběného ve větších sériích.
- Pro potřeby zvyšování efektivity strojů a zařízení byl definován a zařazen příčinně následkový řetězec **RCA+/OEE**, jehož nežádoucí jevy vycházejí ze ztrát obsažených v ukazateli OEE.
- **Aplikace** vytvořeného algoritmu Tfe byla demonstrována prostřednictvím řady inovačních úloh na jednotné a aktuální problematice zvyšování efektivity zařízení na výrobu nanovláken procesem elektrostatického zvlákňování z volné hladiny polymerního roztoku (kap. 4).
- Pomocí nástrojů metody Tfe byla dále vyřešena úloha *Inovace přípravku měřicího zařízení*, zadaná podnikem Škoda Auto, a.s. Použití nástrojů systematické kreativity přineslo kvalitnější a ekonomicky výhodnější řešení.
- Dvě z uvedených úloh (*Inovace kolektoru typu kartáč* a *Inovace přípravku měřicího zařízení*) mají **verifikační charakter**, kdy poskytují srovnání řešení, která byla nalezena intuitivním přístupem, či metodou „pokus-omyl“ s řešeními která byla nalezena pomocí vlastní metody Tfe. Úlohy ukazují na vhodnost použití navržené metody. **Využitím** nástrojů vlastní metody **Tfe** bylo nalezeno **efektivnější řešení**.
- K zajištění efektivního provozu stroje či zařízení je nutno eliminovat, či alespoň redukovat ztráty v jejich provozu. Z toho důvodu byla navržená metoda Tfe podpořena přístupem nazvaným **TRIZ for Maintenance (TfMt)**, jehož cílem je poskytnout sofistikované nástroje metody TRIZplus v oblasti podnikové údržby. Přístup **TfMt** byl popsán a na dílčích příkladech demonstrován v kapitole 5. Jako vhodnými nástroji pro řešení úloh v údržbě se ukazuje být:
  - funkční analýza (FA),
  - analýza příčinně-následkových řetězců (RCA+),
  - funkčně orientované vyhledávání (FOS),

- využití tabulky a invenčních principů k řešení technických rozporů. Obecné invenční principy překonávání technických rozporů definované Altshullerem byly doplněny o příklady z oblasti údržby strojů a zařízení.
- Vytváření vlastních algoritmů systematické kreativity je TRIZ komunitou respektováno [129]. Možnost vytváření vlastních algoritmů je dáno podstatou algoritmů, jež mají jakýmkoliv způsobem pomoci při řešení inovačních úloh.
- Pokud bychom **diskutovali** správnost navržené metody TfE docházíme k závěru, že v oblasti systematické kreativity lze s dobrými úmysly jen obtížně vytvořit nesprávnou metodu, která by řešitele vedla nesprávným směrem. Všechny metody pravděpodobně budou více či méně podporovat kreativitu řešitele. Otázkou k diskusi tedy může být spíše to, do jaké míry (řekněme v rozmezí od slabších metod typu brainstorming po silné metody typu TRIZ) pomáhá metoda řešiteli nalézat inovativní řešení. Vedle posuzování „síly“ metody je vhodné do hodnocení zahrnout i parametr čas, nutný k osvojení metody i čas potřebný k vyřešení dané úlohy. Dalším parametrem může být závislost na komerčních SW nástrojích. Při posouzení výše uvedených kritérií lze považovat navrženou metodu **TfE** za **efektivní** co se týče řešitelské síly (TfE obsahuje klíčové nástroje silné metody TRIZ) a nároků na uživatele (algoritmizace, ucelený popis nástrojů).
- Vytvořená metoda **TfE může řešit pedagogický problém** spočívající v tom, jakým způsobem systematickou kreativitu vyučovat.

Závěry k naplnění druhého hlavního cíle (**poskytnout specifické poznatky ze zvyšování efektivity zařízení na výrobu nanovláken**) lze shrnout do následujících bodů:

- **Inovace zásobníku polymerního roztoku** – Relativní permitivita materiálu a konstrukční řešení geometrie zásobníku polymerního roztoku má významný vliv na produktivitu výrobního procesu. Nejnížší produktivitu vykazuje nádoba vyrobená z oceli, dále polypropylen, který je standardně využíván pro výrobu zásobníku a pak dřevěná nádoba. Naopak **nejvyšší produkce** nanovláken bylo dosaženo při použití **zásobníku s dutinami vyrobeného ze skla**. Lze tedy konstatovat, že intenzita elektrostatického pole je rozhodující pro produktivitu elektrostatického zvlákňování a že permitivita a množství materiálu v technickém systému má na tento proces významný vliv.
- **Studie vlivu velikosti zvlákňovací elektrody na proces zvlákňování** – Rozložení intenzity elektrostatického pole ovlivňuje výslednou produktivitu výroby nanovláken. Intenzita elektrického pole je ovlivněna průměrem elektrody. Z výsledků je zřejmá nepřímo úměrná závislost mezi průřezem elektrody a intenzitou elektrostatického pole. Nejvyšší intenzity pole by teoreticky bylo dosaženo s průměrem elektrody blížící se nule. V reálném konstrukčním provedení je mimo maximální intenzity pole nutno počítat také s požadovanými mechanickými vlastnostmi struny a to především pevností, která je nezbytná pro požadované předepnutí struny. Průměr struny také ovlivňuje tvorbu polymerního filmu. Nevhodný průměr drátu vede k nestabilitě procesu zapříčiněné vznikem kapek místo rovnoměrné vrstvy polymerního filmu. Kapky polymeru pak snižují produktivitu zařízení. Pro konstrukční provedení se ukázal být vyhovující nerezový řezný drát průměru 0,2mm
- **Inovace kolektoru proudícím plynným médiem** – Zavedení proudícího plynného média proti směru zvlákňování způsobuje žádané přetvoření (provzdušnění)

nanovláknenné struktury. Proudící medium způsobuje deformace struktury, která odpovídá rozložení tlaku v jednotlivých částech struktury. Při modelování MKP byly hledány optimální hodnoty proudění plynného média v čase (tlak, rychlost, gradient apod.), které by zajistily reprodukovatelné dosažení uvedené 3D nanostruktury ve výrobním procesu. Konstrukce sběrné elektrody a také výrobní proces elektrostatického zvlákňování pro výrobu 3D nanovláknenné struktury může být s výhodou optimalizován pomocí MKP.

- **Inovace kolektoru typu kartáč** – Pro zajištění vysoké produktivity zvlákňování se ukazuje být vhodné využití kolektoru typu kartáč, který zajišťuje požadované rozložení intenzity el. pole. Problém přílišného zachytávání zvlákněného materiálu mezi štětinami kolektoru typu kartáč a následné problematické snímání zvlákněného materiálu z kolektoru lze řešit inovací kolektoru. Ta spočívá v zalití kolektoru typu kartáč do pryskyřice. Tím lze dosáhnout z mechanického hlediska hladkého povrchu (válcové plochy) pro snazší snímání vytvořených vláken a z „elektrického“ hlediska zachování štětín kartáče potřebných pro zvýšení efektivity zvlákňovacího procesu. Následné snímání soudržné vrstvy zvlákněného materiálu z geometricky hladké válcové plochy povrchu kolektoru lze řešit např. odvodem vrstvy pomocí vodících a sběrného válce.

**Uvedené závěry dokládají, že vytyčené cíle práce byly postupně naplněny.**

## 6.2 Přínosy práce

Přínosy práce lze rozdělit na přínosy pro vědní obor, přínosy pro praxi a přínosy pro pedagogiku.

### Přínosy pro vědní obor:

- Byla vytvořena metoda *TRIZ for Efficiency* (TfE), která poskytuje možnost systematického řešení inovačních úloh.
- Byl popsán, v dostupné literatuře doposud nepopsaný, algoritmus stanovení vývojové fáze technického systému podle tzv. *S-křivky*. Na základě znalosti fáze vývoje technického systému lze dále rozhodnout o strategii jeho dalšího zdokonalování.
- Pro potřeby zvyšování efektivity strojů a zařízení byl definován příčinně-následkový řetězec RCA+/OEE, jehož nežádoucí jevy vycházejí ze ztrát obsažených v ukazateli OEE.
- Byly popsány specifické závěry ze zvyšování efektivity zařízení na výrobu nanovláken pomocí procesu elektrostatického zvlákňování z volné hladiny polymerního roztoku.

### Přínosy pro praxi:

- Poskytnutí prakticky využitelné metody *TRIZ for Efficiency* (TfE), jež by měla konstruktérům pomoci při procesu inovace technických systémů (strojů, zařízení i výrobků obecně).
- Ucelený a úplný systematický popis dílčích nástrojů metody TfE.

- Poskytnutí přístupu *TRIZ for Maintenance* (TfMt), jehož aplikace by měla vést ke zlepšení v oblasti podnikové údržby.
- Představení konvenčních způsobů řešení problémů.
- Představení SW podpory metody TRIZ.
- Shrnutí vlastních dílčích praktických poznatků v oblasti zvyšování efektivity zařízení na výrobu nanovláken procesem elektrostatického zvlákňování.

### Přínosy pedagogiku:

Vytvoření uchopitelné systematické kreativní metody TfE, resp. TfMt bude mít přínos z pedagogického hlediska především v tom smyslu, že si nyní budou studenti schopni v přiměřené době (semestr) osvojit základní nástroje systematické kreativity a používat je v ucelené zalgoritmizované formě TfE, resp. TfMt. Tím dojde k podstatné změně oproti současnému stavu, kdy student zpravidla ví, že metoda TRIZ existuje, že je pomocí ní možno řešit složité úlohy, ale často již neumí jednotlivé nástroje používat do takové míry, aby byl schopen samostatně formulovat a řešit inovační zadání.

Na Fakultě strojní Technické univerzity v Liberci nalezne, či může nelézt, vytvořená metoda TfE, resp. TfMt uplatnění především v následujících předmětech NMSP oboru *Inovační inženýrství* v následujícím rozsahu:

- *Metody systematické kreativity*<sup>30</sup> – inovace technických systémů pomocí vybraných nástrojů TRIZplus a metod TfE, TfMt, uvedení řešených úloh zvyšování efektivity výroby nanovláken.
- *Inovační inženýrství*<sup>31</sup> – inovace technických systémů pomocí TfE, uvedení řešených úloh zvyšování efektivity výroby nanovláken.
- *Projektování procesů*<sup>32</sup> – kreativní řešení problémů v údržbě strojů a zařízení pomocí TfMt, uvedení dílčích příkladů z oblasti podnikové údržby.
- *Projekt I*<sup>33</sup> – praktická aplikace nástrojů systematické kreativity a TfE při inovaci technického systému.
- *Řízení projektů*<sup>34</sup> – generování a kreativní řešení rizik inovačních projektů,
- *Diplomová práce* – řešení témat vedených diplomových prací zaměřených na inovaci výrobků, resp. zařízení nástroji systematické kreativity zformulované do algoritmu TfE.

V podkapitole 2.3.3 *Současný stav využívání TRIZ ve světě a ČR* bylo uvedeno, že výuka předmětu zaměřeného na metodu TRIZ, resp. TRIZplus je v ČR realizována v rozsahu celého semestru pouze na TUL a VUT pro studenty NMSP a na VŠB-TUO pro studenty DSP. Předkládané zpřístupnění nástrojů systematické kreativity v podobě TfE by mohlo být prvním krokem k rozšíření výuky metod systematické kreativity i na dalších technických fakultách českých vysokých škol.

<sup>30</sup> Autor je od letního semestru akad. r. 2015/2016 veden jako jeden z přednášejících.

<sup>31</sup> Autor je přednášejícím i cvičícím v anglickém jazyce a cvičícím v českém jazyce.

<sup>32</sup> Autor je přednášejícím i cvičícím v anglickém jazyce a cvičícím v českém jazyce.

<sup>33</sup> Autor je jedním z garantů a cvičích v českém i anglickém jazyce.

<sup>34</sup> Autor je garantem předmětu, přednášejícím i cvičícím v českém i anglickém jazyce.



### 6.3 Směry dalšího řešení problematiky

Na základě provedené práce a získaných poznatků se nabízejí následující možné směry dalšího výzkumu a činností:

- Další testování algoritmu TfE při inovacích rozličných technických systémů, strojů a zařízení za účelem hledání optimálního zastoupení nástrojů systematické kreativity v metodě TfE ve smyslu hledání rovnováhy mezi „silou“ metody TfE a snadností jejího použití.
- Vytvoření softwarové aplikace umožňující snadnější praktické používání metody TfE a jejích nástrojů.
- Snaha o zvyšování zastoupení a vývoj nástrojů pro hledání již existujících řešení podobného problému v kyberprostoru a následného řešení snazšího adaptačního problému namísto přímého řešení inovačního zadání.
- Samostatným, v práci stručně nastíněným, a doposud ne příliš rozvinutým směrem vývoje je rozvoj přístupu TfMt, u něhož lze očekávat značným přínos pro oblast údržby.
- Pro, v práci uváděný, příklad zvyšování efektivity výroby nanovláken pokračovat jak v zdokonalování současných technických systémů, tak v hledání efektivnějších způsobů výroby nanovláken.
- Popularizace a rozvoj vzdělávání v oblasti TRIZplus, Tfe, TfMt a nástrojích systematické kreativity.

Práci bych si dovolil uzavřít krátkým zamyšlením nad vlivem poznání metod systematické kreativity na myšlení techniků a jejich náhled na svět techniky. V průběhu řešení problematiky jsem došel k následujícím závěrům:

- poznání přístupů systematické kreativity (např. heuristických invenčních principů překonávání technických rozporů, zákonitostí rozvoje technických systémů, funkčního přístupu k technickým systémům či systémového náhledu na technické systémy) vede ke změně (trvalému obohacení) ve vnímání, uvažování a myšlení daného jedince.
- Efekt poznání metod systematické kreativity na rozvoj systematického kreativního myšlení lze přirovnat k efektu poznání přírodních věd na rozvoj analytického myšlení jedince.
- K synergetickému efektu v přínosnosti poznání metod systematické kreativity dochází při jejich poznání skupinou jedinců.

Takovýto kvalitativní rozvoj myšlení, přesahující rámec znalostí ze studovaného oboru, považuji, vedle komplexního rozvoje osobnosti ve smyslu získávání interoborových a interkulturních kompetencí, za jedno z hlavních poslání dnešního univerzitního vzdělávání.

## LITERATURA

- [1] Altshuller, G.: *Kak izobretat'*. Tambovskoe knižnoe izdatelstvo, Tambov 1961.
- [2] Altshuller, G.: *Algoritm izobretenija*. Moskovskij Rabočij. Moskva 1973.
- [3] Altshuller, G.: *Creativity as an Exact Science*. Gordon and Breach. New York. 1988.
- [4] Altshuller, G.: *Naiti ideju*. Nauka. Novosibirsk 1991.
- [5] Altshuller, G.: *The Innovation Algorithm: TRIZ, systematic innovation and technical creativity*. Worchester, Massachusetts: Technical Innovation Center, 1999. ISBN 0-9640740-4-4
- [6] Altshuller, G.: *And Suddenly the Inventor Appeared: TRIZ, the Theory of Inventive Problem Solving*. Worchester, Massachusetts: Technical Innovation Center, 1996. ISBN 0-9640740-2-8
- [7] Altshuller: *40 PRINCIPLES: TRIZ Keys to Technical Innovation*. Worchester, Massachusetts: Technical Innovation Center, 1997 ISBN 0964074036
- [8] Altshuller G., Zlotin B., Zusman A., Philatov V.: *Tools of Clasical TRIZ. Ideation International*, 1999. ISBN 1928747027
- [9] Salamatov Y. P. *Kak stat' izobretatělom*. Prosveščenie. Moskva 1990.
- [10] Rantanen, K.; Domb, E. *Simplified TRIZ: New Problem Solving Applications for Engineers and Manufacturing Professionals*. Auerbach Publications. Boca Raton 2007.
- [11] Fey, V. R.; Rivin, E. I. *Innovation on Demand: New Product Development Using TRIZ*. Cambridge University Press. Cambridge 2005.
- [12] Fey, V. R.; Rivin, E. I. *The Science of Innovation: A Managerial Overview of the TRIZ Methodology*. The TRIZ Group, 1997. ISBN 0-9658359-0-1
- [13] Savransky, S. *Engineering of Creativity: Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving*. CRC Press. BocaRaton 2000.
- [14] Bukhman, I.: *TRIZ. Technology for Innovation*. Cubic Creativity Company, 2012. ISBN 978-986-85635-2-0
- [15] Gadd, K.: *TRIZ for Engineers: Enabling Inventive Problem Solving*. John Wiley&Sons, 2011. ISBN 978-04-707-4188-7.
- [16] Kwatra, S.; Salamatov, Y: *Trimming, Miniaturization and Ideality via Convolution Technique of TRIZ*. Springer, 2013. ISBN 978-81-322-0736-8.
- [17] Orloff, M. A.: *Modern TRIZ. A Practical Course with EASyTRIZ Technology*. Springer, 2012. ISBN 978-3-642-25217-4.
- [18] San, Y. T.; Jin, Y. T.; Li, S. C.: *TRIZ. Systematic Innovation in Manufacturing*. Firstfruits, 2009. ISBN 978-983-804-026-6.
- [19] Belski, I.: *Improve your Thinking: Substance-Field Analysis*. TRIZ4U, Melbourne, 2007. ISBN 978-0-9803293-0-8.
- [20] Cameron, G.: *TRIZICS – Teach yourself TRIZ, how to invent, innovate and solve “impossible” technical problems systematically*. 2010. ISBN 1456319892.
- [21] Clausing, D.; Fey, V. R.: *Effective Innovation*. ASME Press, 2004. ISBN 1-86058-438-1.
- [22] Kosse, V.: *Solving Problems with TRIZ: An Exercise Handbook*. Ideation International, 1999. ISBN 1928747019
- [23] Mann, D.: *Systematic Innovation*. Creax, 2002. ISBN 9077071024
- [24] Mann, D.: *Hands-On Systematic Innovation*. Ieper: Creax Publisher, 2003. ISBN 9077071024
- [25] Timokhov, V. I.: *Natural innovation*. CREAX, 2002. ISBN 5-88912-004-2
- [26] Ball, L.: *Breakthrough Inventing With TRIZ*. Third Millennium Publishing, 2002. ISBN 1-932657-05-3
- [27] Prushinskiy, V.; Zainiev, G; Gerasimov, V.: *HYBRIDIZATION: the new warfare in the battle for the market*. Ideation International, 2005. ISBN 1-59872-069-4.

- [28] Terninko, J.; Zusman, A.; Zlotin, B.: *Systematic Innovation: An Introduction to TRIZ (Theory of Inventive Problem Solving)*. CRC Press, 1998. ISBN 1574441116
- [29] Sushkov, V.: *Root Conflict Analysis (RCA+): Structured Problems and Contradictions Mapping*, ETRIA Conference TRIZ FUTURE 2005, Graz, Austria, November 11-13, 2005, p. 8
- [30] Sushkov, V.: *A Guide to Root Conflict Analysis (RCA+)*, xTRIZ, Enschede, Netherlands, 2010, pp: 13-36.
- [31] Sushkov, V.: *Root Conflict Analysis (RCA+)*. [on-line] [cit. 02/2015] Dostupné z: <http://www.triz.cz/pricinne-nasledkovy-retezec-udalosti-rca/>
- [32] Mašín, I.; Jirman, P.: *Metody systematické kreativity*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2012. ISBN 978-80-7372853-3
- [33] Mašín, I.; Jirman, P.; Filová, D.: *TRIZ+Search. Nástroje inovační kreativity*. Institut kreativity a inovací. Liberec 2014.
- [34] Mašín, I.; Lepšík, P.: *Analytické a kreativní postupy v údržbě strojů a zařízení*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. 152s. ISBN 978-80-7494-188-7
- [35] Mašín, I.; Petrů, M.; Novák, O.: *Metody inovačního inženýrství na mikro-úrovni*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-80-7494-187-0
- [36] Mašín, I.: *Report for 3<sup>rd</sup> level TRIZ certification (MA TRIZ)*, 2015.
- [37] Mašín, I.; Vytlačil, M.: *TPM. Management a praktické zavádění*. Institut průmyslového inženýrství. Liberec 2000.
- [38] *International Human Development Indicators*. [on-line] [cit. 03/2017] Dostupné z: <http://hdr.undp.org/en/countries>
- [39] Kahneman, D.: *Myšlení, rychlé a pomalé*. Jan Melvil Publishing, 2012. ISBN: 978-80-87270-42-4.
- [40] Stamatis, D. H.: *The OEE Primer: Understanding Overall Equipment Effectiveness, Reliability, and Maintainability*. Productivity Press, 2010. ISBN-13: 978-1439814062
- [41] *Celková efektivita zařízení*. [on-line] [cit. 09/2015] Dostupné z: <http://www.svetproduktivity.cz/slovník/CEZ-OEE.htm>
- [42] Chakrabarti, A.; Blessing, L. T. M.(eds): *An Anthology of Theories and Methods of Design*. Springer-Verlag. London 2014.
- [43] Tyre, M. J.; Eppinger, S. D.; Csizinszky, E. M. H.: *Systematic versus Intuitive Problem Solving on the Shop Floor: Does it Matter?*. In. MIT – Sloan School of Management Working Paper No. 3716. Boston 1995.
- [44] *40 Principles Extended Edition TRIZ Keys to Technical Innovation, Volume 1*. IHS Engineering [on-line] [cit. 09/2015] Dostupné z: <http://www.globalspec.com/reference/52335/203279/40-principles-extended-edition-triz-keys-to-technical-innovation-volume-1>
- [45] *The Origins of TRIZ*. Ideation International Inc. [on-line] [cit. 09/2015] Dostupné z: <http://www.ideationtriz.com/history.asp>
- [46] *Theory of Inventive Problem Solving*. [on-line] [cit. 09/2015] Dostupné z: <http://www.selectorweb.com/triz.html>
- [47] Suchkov, V.: *Annotated List of Key TRIZ Components and Techniques*, 2011. [on-line] [cit. 04/2014] Dostupné z: <http://www.xtriz.com/Annotated%20list%20of%20main%20TRIZ%20tools%20and%20techniques.pdf>
- [48] Marconi, J.; Marconi, W.: *ARIZ : The Algorithm for Inventive Problem Solving*. . [on-line] [cit. 08/2015] Dostupné z: <http://www.triz-journal.com/ariz-algorithm-inventive-problem-solving/>
- [49] Bukhman, I.: *ARIZ – Structure*. TRIZ Solutions LLC. [on-line] [cit. 08/2015] Dostupné z: [http://www.triz.com.tw/Isak2/tutorial/+ARIZ85C\\_structure\\_example\\_WEB\\_02\\_22\\_2012.pdf](http://www.triz.com.tw/Isak2/tutorial/+ARIZ85C_structure_example_WEB_02_22_2012.pdf)
- [50] *TRIZ – road maps*. [on-line] [cit. 08/2015] Dostupné z: [https://www.google.cz/search?q=TRIZ+road+map&espv=2&biw=1280&bih=604&source=lms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj\\_q678tL\\_JAhULFCwKHe55DmwQAUIBigB&dp r=1.25](https://www.google.cz/search?q=TRIZ+road+map&espv=2&biw=1280&bih=604&source=lms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj_q678tL_JAhULFCwKHe55DmwQAUIBigB&dp r=1.25)

- [51] Bukhman, I.: *TRIZ – technology for Innovation*. [on-line] [cit. 08/2015] Dostupné z: <http://aitriz.org/documents/TRIZCON/Proceedings/Bukhman-TRIZ-Technology-for-Innovation.pdf>
- [52] Jirman, P.; Logvinov, S.: *Aplikace TRIZ na mikrourovni*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-807494-190-0
- [53] *International TRIZ Association MA TRIZ*. [on-line] [cit. 07/2015] Dostupné z: <http://matriz.org/>
- [54] *TRIZ in Academia*. MA TRIZ. [on-line] [cit. 07/2015] Dostupné z: <http://matriz.org/resources/triz-in-academia/>
- [55] *QS ranking*. [on-line] [cit. 10/2015] Dostupné z: <http://www.topuniversities.com/university-rankings/world-university-rankings/2015#sorting=rank+region=+country=+faculty=+stars=false+search=>
- [56] *TRIZ Development High Priority Directions*. MA TRIZ. [on-line] [cit. 11/2015] Dostupné z: <http://matriz.org/wp-content/uploads/2012/09/TRIZ-Development-High-Priority-Directions-Summary-Eng.-100913-VF.pdf>
- [57] Ikovenko, S.: *Basic GEN 3 Innovation Discipline (G3:ID) Training*. Boston: GEN 3 Partners, Inc., 2008.
- [58] *Goldfire Innovator*. Invention Machine. [on-line] [cit. 07/2015] Dostupné z: <https://www.ideaconnection.com/software/invention-machine-goldfire-15.html>
- [59] Litvin, S. S.: *New TRIZ-Based Tool—Function-Oriented Search (FOS)*, 2004, In. *ETRIA Conference TRIZ Future*, pp. 505-509
- [60] Montecchi, T.; Russo, D.; FBOS: *Function/Behaviour–Oriented Search*, 2011, In. *ETRIA Conference TRIZ Future*, pp. 165-176.
- [61] Horng, A.; Huang, C.: *Searching method based on a problem/function-defined interface for a patent database system*, European patent application, No. 08001335.2
- [62] Lepšík, P.; Petrů, M.; Novák, O.: *Innovation of Car Seat Construction Using TRIZ-based Tool – Function-Oriented-Search*. In. *Modern Methods of Construction Design, Lecture Notes in Mechanical Engineering 2014*, pp 459-470, Springer International Publishing, ISBN 978-3-319-05202-1
- [63] Lepšík, P.; Petrů, M.; Novák, O.: *Increasing of car seat safety using TRIZplus-FOS method*. In. *Proceedings of the 13th World TRIZ Future Conference 2013*. 29-31 October, Paris, France, pp. 659-666
- [64] Lepšík, P.; Petrů, M.; Novák, O.: *Innovation of Car Seat Construction Using TRIZ-based Tool – Function-Oriented-Search*. In. *Book of Proceedings of the 54th International Conference of Machine Design Departments*. Liberec: Technical university of Liberec, pp. 395-404. ISBN 978-80-7372-986-8
- [65] Petrů, M., Novák, O., Lepšík, P.: *Increase of the efficiency of the production lines for the spinning of inorganic nanofibers by the electrostatic field intensity optimization*, MM Science Journal, Issue. Nr. 4, pp. 382-385 (4), 2012, ISSN 1803-1269
- [66] Ikovenko, S.; Bradley, J.: *TRIZ as a Lean Thinking Tool*. In *Proceeding of TRIZ Future Conference 2004*. Florence: MA TRIZ. [on-line] [cit. 07/2015] Dostupné z: <http://www.triz-journal.com/archives/2005/02/02.pdf>
- [67] Lepšík, P.; Silva, J. C.: *Increasing of Productivity of Production Systems Using TRIZ*. In. *Proceedings of 10th International Bata Conference for Ph.D. Students and Young Researches 2014*. Zlín: Tomas Bata University in Zlín, 2014. ISBN 978-80-7454-339-5
- [68] *Design for Maintainability*, NASA. [on-line] [cit. 12/2015] Dostupné z: <http://msis.jsc.nasa.gov/sections/section12.htm>
- [69] Petrů, M., Novák, O., Lepšík, P.: *Increase of the efficiency of the production lines for the spinning of inorganic nanofibers by the electrostatic field intensity optimization*, MM Science Journal, Issue. Nr. 4, pp. 382-385 (4), 2012, ISSN 1803-1269
- [70] Petrů, M., Novák, O.; Ševčík, L.; Lepšík, P.: *Numerical And Experimental Research Of Design Optimization Of Baths For The Production Of Nanofibers By The Electrospinning*. In. *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 486, 2014, pp. 157-162, ISSN 1662-7482

- [71] Lepšík, P.; Petrů, M.; Novák, O.; Ševčík, L.: *System Solutions for Increasing Nanofibre Production through TRIZ*. In: Journal of the European TRIZ Association INNOVATOR. Vol. 1, Nr. 1, November 2014, pp 51-56, ISSN 1866-4180
- [72] Petrů, M.; Novák, O.; Ševčík, L.; Lepšík, P.: *Numerical And Experimental Research Of Design Optimization Of Baths For The Production Of Nanofibers By The Electrospinning*. 51th International Conference experimental stress analysis (EAN 51), Litomerice, Czech Republic, 2013, ISBN 978-807414-579-7
- [73] Petrů, M., Novák, O., Lepšík, P.: *Optimization of the Electrostatic Field in the Construction of Production Line for Production of Inorganic Nanofibers*. 53rd International Conference of Machine Design Departments, 12-14 September Mikulov, 2012, p. 235-240, ISBN 978-80-214-4522-8
- [74] Petrů, M.; Novák, O.; Lepšík, P.: *Analysis And Measurement Of The Charge Intensity Of The Selected Electrospinning Electrodes*, In: Applied Mechanics and Materials, Vol. 486, 2014, pp. 217-222, ISSN 1662-7482
- [75] Petrů, M.; Novák, O.; Lepšík, P.: *Studies and numerical modelling for improving of the efficiency of inorganic nanofiber production throught electrospinning*. In: Technológ. Vol. 6, Nr. 2, June 2014, pp 130-135, ISSN 1337-8996
- [76] Petrů, M.; Novák, O.; Lepšík, P.: *Analysis And Measurement Of The Charge Intensity Of The Selected Electrospinning Electrodes*, 51th International Conference experimental stress analysis (EAN 51), Litomerice, Czech Republic, 2013, ISBN 978-807414-579-7
- [77] Petrů, M.; Novák, O.; Vejrych, D.: *FEM Study of the Strain Kinematics in the 3D Nanofibrous Structure Prepared by the Electrospinning Process*. In: Applied Mathematics; Vol. 4 Nr. 5, May 2013; pp. 80-90 ISSN 2152-7393 (on-line), 2152-7385 (print)
- [78] Z.Bittnar, J. Sejnoha "Numerical methods in structural mechanics," Pitman Monographs and Surveys in Pure and Applied Mathematics, Thomas Telford Publications, London, 1996.
- [79] Levenberg, K: A Method for the Solution of Certain Non-Linear Problems in Least Squares, *Quarterly of Applied Mathematics*, pp. 164-168. Vol. 2, 1944.
- [80] Marquardt, D.: An Algorithm for Least-Squares Estimation of Non-Linear Parameters, *SIAM Journal of Applied Mathematics*, pp. 431-441 Vol. 11, No.2, 1963.
- [81] Jedrysiak, J.: Free vibrations of thin periodic plates interacting with an elastic periodic foundation, *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol. 45, No. 8, 2003, pp. 1411-1428. doi: 10.1016/j.ijmecsci.2003.09.011
- [82] Avramidis, I.E.; Morfidis, K: Bending of beams on the three-parameter elastic foundation," *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 43, No. 2, 2006, pp. 357-375. doi:10.1016/j.ijsolstr.2005.03.033
- [83] Papachristou, S. K.; Sophianopoulos D.S.: Buckling of Beams on Elastic Foundation Considering Discontinuous (Unbonded) Contact, *International Journal of Mechanics and Applications*, Vol.3, No. 1, 2013, pp. 4-12. doi:10.5923/j.mechanics.20130301.02
- [84] Rektorys, K: *Variational Methods in Mathematics, Science and Engineering*, 2th Edition, D. Reidel Publishing Company, Boston, 1980.
- [85] Krizek, M.; Neittanmaki, P: *Finite Element Approximation of Variational Problems and Applications*, Pitman Monographs and Surveys in Pure and Applied Mathematics, 50. Longman Scientific and Technical Publications, copublished by John Wiley and Sons, Inc., New York, 1990.
- [86] Wienands, R.; Joppich, W.: *Practical Fourier Analysis For Multigrid Methods*, Chapman & Hall/CRC, 2005, pp. 217.
- [87] Komarek, M.; Martinova, L.: Design And Evaluation Of Melt-Electrospinning Electrodes, *Proceedings of 2nd NANOCON International Conference*, Olomouc, 12-14 October 2010, pp. 72-77.
- [88] Neckar, B.; Das, D.: Modelling of fibre orientation in fibrous materials," *Journal of the Textile Institute*, Vol. 103, No. 3, 2012, pp. 330-340. doi:10.1080/00405000.2011.578357
- [89] Tsai C.C. et al., "Nanoporous artificial proboscis for probing minute amount of liquids," *Nanoscale*, Vol. 3, No. 11, 2011, pp. 4685-4695. doi:10.1039/c1nr10773a

- [90] Reneker, D.H.; Yarin, A.L.; Zussman, E.; Xu, H.: Electrospinning of Nanofibers from Polymer Solutions and Melts" *Advances in Applied Mechanics*, Vol. 41, 2007, pp. 43-195. doi:10.1016/S0065-2156(07)41002-X
- [91] Vejrych, D.: *Výzkum uzlových prvků stroje na výrobu modifikované nanovláknenné vrstvy*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2013 [disertační práce]
- [92] Vejrych, D.; Ševčík, L.: Assessing the distribution of deformation in layers in 3D nanostructures spinning into another space, *Proceedings of the 5th International Mechanical Engineering Forum*, Prague, 20-22 June 2012, pp. 962-970
- [93] Komarek, M.; Martinova, L.: Design And Evaluation Of Melt-Electrospinning Electrodes. *Proceedings of 2nd NANOCON International Conference*, Olomouc 2010; pp.72-77.
- [94] Elsayed, A. E.: *Reliability Engineering*. Wiley, 2012. 2<sup>nd</sup> ed. ISBN 978-1-118-13719-2
- [95] O'Connor, P.; Kleyner, A.: *Practical Reliability Engineering*. Wiley, 2012. 5<sup>th</sup> ed. ISBN 978-0-470-979822
- [96] Rausand, M.; Hoyland, A.: *System Reliability Theory Models, Statistical Methods and Applications*. Wiley, 2004. 2<sup>nd</sup> ed. ISBN 978-0-471-47133-2
- [97] Legát, V. a kol.: *Management a inženýrství údržby*. Professional publishing, 2013. ISBN 978-80-7431-119-2
- [98] Kister, T. C.; Hawkins, B. *Maintenance Planning and Scheduling Handbook*. Elsevier Butterworth-Heinemann. Burlington 2006.
- [99] Soska, G. V.: *Robotic laser tire mold cleaning system and method of use*. Robotic laser tire mold cleaning system and method of use. Patent: US 6369353 B1, June 1, 2000.
- [100] Richard, C. B.; Crispin, C. W.: *Pressurization of tire mold vents*. Patent: US 4812281A, March 14, 1989.
- [101] Koberlein, B. M.: *Tire mold having air vents and vent plugs, and method for the manufacture thereof*. Patent: US 2007/0278707 A1, December 6, 2007.
- [102] The Goodyear Tire & Rubber Company: *Mold venting assembly*. Tayfun Serener-Thielmann. Patent: EP 2554349 A1, February 6, 2013.
- [103] The Goodyear Tire & Rubber Company: *Mold vent*. Cuny A, Schmit, G, Nowak E. Patent: JP2005178383A, July 7, 2005.
- [104] Dunlop GmbH: *Tyre vulcanisation mould with blocking mechanisms fitted in deairing holes*. Patent: EP 1100666 B1, March 26, 2003.
- [105] Enviromental Gasket Company LTD: *Fishbone™ Gasket*. [on-line] [cit. 12/2015] Dostupné z: <http://www.environmentalgasket.com>
- [106] Advance Products and Systems, Inc: *Safety Spray Shields*. [on-line] [cit. 12/2015] Dostupné z: <http://www.apsonline.com/safetysprayshields>
- [107] Petrů, M.; Novák, O.; Lepšík, P.; Vosáhlo, J.: Modelování textilních útvarů I - příklady pro cvičení. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. 188s. ISBN 978-80-7494-181-8
- [108] Petrů, M.; Novák, O.; Herák, D.; Mašín, I.; Lepšík, P.; Hrabě, P.: Finite element method model of the mechanical behaviour of *Jatropha curcas* L. bulk seeds under compression loading: Study and 2D modelling of the damage to seeds , *Biosystems Engineering*, Vol.127, pp.50-66 DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2014.08.011 [IF: 1,367]
- [109] Herák, D.; Kabutey, A.; Petrů, M.; Hrabě, P.; Lepšík, P.; Simanjuntak, S.: Relaxation behaviour of *Jatropha curcas* L. Bulk seeds under compresion loading. In. *Biosystems Engineering*, Volume 125, September 2014, Pages 17–23, DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2014.06.012 [IF: 1,367]
- [110] Petrů, M.; Lepšík, P.; Novák, O.; Lufinka, A.: Measurement and Numerical Analysis of Lifting Platform Construction for Car Relocation. In. *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 732, 2015, pp. 219-222, ISSN 1662-7482

- [111] Petrů, M.; Ševčík, L.; Mašín, I.; Lepšík, P.; Lufinka, A.; Novák, O.: Dynamical Analysis of Lifting Platform Construction for a Car Relocating. In. Modern Methods of Construction Design, Lecture Notes in Mechanical Engineering 2014, pp 517-524, Springer International Publishing, ISBN 978-3-319-05202-1
- [112] Petrů, M.; Lepšík, P.; Novák, O.; Lufinka, A.: Measurement and Numerical Analysis of Lifting Platform Construction for Car Relocation. In. 52nd International Conference Experimental Stress Analysis (EAN 52), June 2 – 5, 2014. Mariánské Lázně, Czech Republic, 2014, ISBN 978-80-231-0377-6
- [113] Petrů, M.; Ševčík, L.; Mašín, I.; Lepšík, P.; Lufinka, A.; Novák, O.: Dynamical Analysis of Lifting Platform Construction for a Car Relocating. In. Book of Proceedings of the 54th International Conference of Machine Design Departments. Liberec: Technical university of Liberec, pp. 431-438. ISBN 978-80-7372-986-8
- [114] Lepšík, P.; Petrů, M.; Novák, O.; Bartoníček, P.: Innovation of Coordinate Measuring Machine Using TRIZ Methodology. In. Journal of the European TRIZ Association INNOVATOR. Vol. 1, Nr. 1, November 2014, pp 75-80, ISSN 1866-4180
- [115] Bartoníček, P.; Lepšík, P.: Zvýšení produktivity procesu měření prostřednictvím inovace CMM zařízení. In. Sborník příspěvků z 2. národní konference Konstruování - Green Engineering. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2013 ISBN 978-80-7494-035-4
- [116] Lepšík, P.: *Developement of Algorithm for Assembling of 3D Scans*. In: *Vědecká pojednání XIV / 2008 - ACC JOURNAL*, s. 188 - 195. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2008. ISBN 978-80-7372-379-8, ISSN 1801-1128
- [117] Keller P.; Rach P.; Lepšík, P.: *Bezkontaktní 3D digitalizace – skládání skenů*. In: *Stretnutie ústavov a katedier výrobných strojov a robotiky*. Košice: Technická univerzita v Košicích, 2006. s. 43 - 46. ISBN 80-8073-560-3
- [118] Petrů, M.; Novák, O.; Lepšík, P.: *Mechanical properties of non-polyurethane materials for PU foam replacement in car seat*. In. Technológ. Vol. 5, Nr. 3, June 2013 ISSN 1337-8996
- [119] Petrů, M.; Novák, O.; Lepšík, P.: Numerical and Experimental Analysis of Composite Reinforcements Applicable for a Car Seat Innovation. In. Technológ. Vol. 6, Nr. 1, March 2014, pp 25-30, ISSN 1337-8996
- [120] Petrů, M., Novák, O., Lepšík, P.: *System solution for car seat with active adjustable visco-elastic reinforcement*, 5th International Mechanical Engineering Forum, 20-22 June Prague, 2012, p.761-772, ISBN 978-80-213-2291-2
- [121] Lepšík, P.; Petrů, M.; Novák, O.: Reduce of Head Injuries during Whiplash Using TRIZ Methodology. In. Book of Proceedings of the 54th International Conference of Machine Design Departments. Liberec: Technical university of Liberec, pp. 405-410. ISBN 978-80-7372-986-8
- [122] Lepšík, P.; Petrů, M.; Novák, O.: Reduce of Head Injuries during Whiplash Using TRIZ Methodology. In. Modern Methods of Construction Design, Lecture Notes in Mechanical Engineering 2014, pp 471-476, Springer International Publishing, ISBN 978-3-319-05202-
- [123] Kovář, R.: Vývoj uzlů linky pro výrobu anorganických materiálů. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. [disertační práce]
- [124] Kovář, R. Ways to Pull Down Spinning Nanofibers from the Rotating Brush in High Voltage Area. In: 53rd International Conference of Machine Design Departments, Brno, 2012, pp. 141-144. ISBN: 978-80-214-4533-8
- [125] Bartoníček, P.: Inovace přípravku pro přenosné CMM zařízení. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2012. [diplomová práce]
- [126] Vacuum holding flip-pod. [on-line] [cit. 02/2017] Dostupné z: [http://www.metronom.com.au/vacuum\\_workholding/flip-pod.html](http://www.metronom.com.au/vacuum_workholding/flip-pod.html)
- [127] Jirman, P.; Mašín, I.: *TRIZ Tools Evaluation from the Production Plant Viewpoint*. In. 10<sup>th</sup> International Conference TRIZFest-2014. MATRIZ, 2014. ISBN 978-0-692-27134-6
- [128] Danilovsky, Y.; Ikovenko, S.: *Electronic Reference Book of Typical Disadvantages as an Integrated Educational Tool*. In. 10<sup>th</sup> International Conference TRIZFest-2014. MATRIZ, 2014. ISBN 978-0-692-27134-6



- 
- [129] Mann, D.: Who Will Learn and Use TRIZ. In. TRIZ Journal, 2016. Dostupné z: <<https://triz-journal.com/innovation-methods/innovation-triz-theory-inventive-problem-solving/will-learn-use-triz/>>
- [130] Bušov, B.; Židek, J.; Bartlová, M.: TRIZ already 35 years in the Czech Republic. Procedia CIRP, vol. 39, 2016, pp 2016-2020, (doi:10.1016/j.procir.2016.01.191)
- [131] Skařupa, J.: Kreativita a inovační myšlení v konstruování. VŠB-TUO, 2007. 230 s., ISBN 978-80-248-1717-0
- [132] TRIZ Journal: Article Archives Dostupné z: <https://triz-journal.com/archives/>
- [133] Ivanov, G. I.: Algorithm for selecting engineering problems – AVIZ. In. TRIZ Developers Summit, 2015. Dostupné z: <<http://triz-summit.ru/en/conference/203453/203942/>>
- [134] Lepšík, P.; Kovář, R.: Innovation of the Collector for Electrospinning Machine using TRIZ. In Book of Proceedings, 57th International Conference of Machine Design Departments (ICMD 2016). Pilsen: University of West Bohemia, 2016. p. 359-366 ISBN 978-80-261-0609-8
- [135] Lepšík, P.; Petrů, M.: Innovation of Production Line for Producing of Nanofibers Using TRIZ. In. Technology and Art, 2016/7. Vilnius: Vilnius College of Technology and Design, 2016. p. 70-73 ISSN 2029-400X

# PŘÍLOHY

## Příloha 1: 39 technických parametrů k tabulce eliminace technických rozporů

Jedná se o parametry materiálních objektů, které je potřeba nejčastěji změnit při zdokonalování objektů. Vznikly z rozsáhlé analýzy velkého množství patentů provedených G.S. Altshullerem.

### 1. Hmotnost pohyblivého objektu

Měřitelná síla vycházející ze zemské přitažlivosti, kterou vynakládá pohybující se objekt vzhledem k povrchu, který zabraňuje jeho pádu. Pohybující objekt je takový objekt, který mění svou vlastní polohu sám či následkem nějaké vnější síly.

### 2. Hmotnost nepohyblivého objektu

Měřitelná síla vycházející ze zemské přitažlivosti, kterou vynakládá nepohybující se objekt vzhledem k povrchu, na němž spočívá. Nepohybující objekt je takový objekt, který nemění svou vlastní polohu sám či následkem nějaké vnější síly.

### 3. Délka pohyblivého objektu

Lineární měření délky, výšky nebo šířky objektu ve směru pozorovaného pohybu daného objektu. Pohyb mohou působit vnější nebo vnitřní síly.

### 4. Délka nepohyblivého objektu

Lineární měření délky, výšky nebo šířky objektu ve směru, v němž není pozorován žádný pohyb.

### 5. Plocha pohyblivého objektu

Plocha jakékoli roviny nebo části roviny pohybujícího se objektu, který nemůže při působení vnějších nebo vnitřních sil změnit svou polohu v prostoru

### 6. Plocha nepohyblivého objektu

Plocha jakékoli roviny nebo části roviny nepohybujícího se objektu, který nemůže při působení vnějších nebo vnitřních sil změnit svou polohu v prostoru

### 7. Objem pohyblivého objektu

Objem pohybujícího se objektu, který může změnit svou polohu v prostoru působením interních nebo externích sil.

### 8. Objem nepohyblivého objektu

Objem nepohybujícího se objektu, který nemůže změnit svou polohu v prostoru působením interních nebo externích sil.

### 9. Rychlost

Tempo, ve kterém se činnost nebo proces odehrává v čase.

### 10. Síla

Vlastnost, která působí fyzikální změnu objektu nebo systému. Změna může být úplná nebo částečná, trvalá či dočasná.

**11. Napětí, tlak**

Intenzita sil působících na objekt nebo systém, měřena jako síla komprese nebo napětí na jednotku plochy.

**12. Tvar**

Vnější vzhled nebo obrys objektu či systému. Tvar může být úplný nebo částečný a trvalý nebo dočasný, měnící se vlivem sil působících na objekt nebo systém.

**13. Stabilita složení objektu**

Odolnost celého objektu nebo systému vůči změně, kterou působí interakce souvisejících objektů nebo systémů.

**14. Pevnost**

Schopnost objektu nebo systému přijímat za definovatelných podmínek a omezení vlivy síly, rychlosti, tlaku atd. bez porušení.

**15. Doba působení pohyblivého objektu**

Délka časového úseku, během kterého je pohybující se objekt, jenž mění svou pozici v prostoru, schopen úspěšně plnit svou funkci.

**16. Doba působení nepohyblivého objektu**

Délka časového úseku, během kterého je nepohybující se objekt, jenž nemění svou pozici v prostoru, schopen úspěšně plnit svou funkci.

**17. Teplota**

Tepelný zisk či ztráta u objektu či systému během požadovaných funkcí, jež mohou způsobit potenciálně nežádoucí změny objektu, systému nebo výroby.

**18. Intenzita osvětlení**

Množství světelné energie, které dopadá na oblast, která je osvětlená systémem nebo v systému. Jasnost zahrnuje tvrdost paprsků světla, míru osvětlení a jiné vlastnosti světla.

**19. Spotřeba energie pohyblivým objektem**

Energetické požadavky objektu nebo systému, který mění svou pozici v prostoru působením interních nebo externích sil.

**20. Spotřeba energie nepohyblivým objektem**

Energetické požadavky předmětu nebo systému, který nemění svou pozici v prostoru působením externích sil.

**21. Výkon**

Poměr práce a času potřebný pro provedení dané práce. Používá se pro měření požadovaného času ale potenciálně nežádoucích změn ve výkonu, které jsou zjevné v odporujícím systému za daných podmínek.

**22. Ztráty energie**

Zvýšená schopnost objektu nebo systému vynakládat sílu, především pokud nedochází k práci či výrobě produktu.

**23. Ztráty látky (hmoty)**

Snížení nebo odstranění materiálu z objektu či systému, především pokud nedochází k práci či výrobě produktu.

**24. Ztráta informací**

Snížení nebo odstranění údajů nebo vstupů ze systému. [52]

**25. Ztráty času**

Nárůst množství času potřebného pro dokončení dané činnosti.

**26. Množství látky (hmoty)**

Počet prvků nebo množství prvků použité pro vytvoření objektu nebo systému.

**27. Spolehlivost**

Schopnost objektu či systému správně plnit požadovanou funkci po určité časové období či cykly.

**28. Přesnost měření**

Stupeň, v jakém odpovídá měření skutečné hodnotě měřeného množství.

**29. Přesnost výroby**

Míra toho, jak prvky objektu či systému souhlasí se svými konstrukčními specifikacemi.

**30. Škodlivé faktory působící na objekt**

Vnější vlivy působící na objekt či systém, které snižují výkonnost nebo kvalitu.

**31. Škodlivé faktory vyvolané objektem**

Vnitřní vlivy působící na objekt či systém, které snižují výkonnost nebo kvalitu.

**32. Snadnost výroby**

Pohodlná a snadná výroba objektu či systému.

**33. Snadnost užití**

Pohodlné a snadné používání objektu u či systému.

**34. Snadnost oprav**

Pohodlná a snadná oprava objektu či systému zpět do funkční podoby po poškození či intenzivním používání.

**35. Přizpůsobitelnost, universálnost**

Schopnost objektu či systému přeměnit či přeorganizovat sám sebe při změně vnějších podmínek (prostředí, funkce atd.).

**36. Složitost zařízení**

Množství a různorodost prvků, které tvoří objekt či systém, včetně vztahu mezi prvky. Složitost může také popisovat obtížnost používání objektu nebo systému.

**37. Složitost kontroly a měření**

Množství a různorodost prvků, které se používají při měření a monitorování objektu či systému, dále náklady na měření s přípustnou chybou.

**38. Stupeň automatizace**

Schopnost objektu či systému vykonávat činnost bez lidského zásahu.

**39. Produktivita, výrobnost, výkonnost**

Vztah mezi počtem opakování provedení operace a množstvím času, které je zapotřebí pro její provedení.

## Příloha 2: 40 invenčních (heuristických) principů překonání technických rozporů

Principy představují koncepty nebo ideje, které mohou být aplikovány na řešení problémové situace. Principy, které byly odhaleny G.S.Alshullerem na základě rozboru velkého množství vynálezů, použili vynálezci na nové vynálezy vysokých úrovní. Pomáhají překonat technické rozpory v rámci metody TRIZ. Mohou být použity individuálně, nebo v rámci systému vyhledání parametrů (ukazatelů) pro výběr daného principu. Principy lze vzájemně kombinovat.

### 1. Princip drobení (*Segmentation*)

- Rozdělit objekt na nezávislé části (rozdělit proces do stupňů, kropička místo hadice)
- Rozdělit objekt jako demontovatelný nebo odnímatelný (modulární nábytek, skládací rybářský prut)
- Zvýšit stupeň drobení, fragmentace objektu, např. přechodem na mikroúroveň, užití částic, kapek, zrn, molekul, atomů (nabitě částice pohybují vzduchem místo lopatek ventilátoru)

### 2. Princip oddělení (*Extraction, Separation*)

- Oddělit, separovat rušivé části nebo vlastnosti od objektu (užití olovené ochrany k absorpci škodlivého rentgenového záření)
- Vyjmutí nezbytných nebo požadovaných částí nebo vlastností (záznam zvuku nezávisle na filmu)

### 3. Princip místní kvality (*Local Quality*)

- Přejít od stejnorodé k nestejnorodé struktuře objektu, vnějšího prostředí (rozdělení pruhů dálnice na rychlé a pomalé)
- Přiřadit různým částem objektu různé funkce (tužka s gumou)
- Zajistit každé části objektu nejvýhodnější podmínky pro její činnost (rozžhavený hrot s chladným držadlem pro ruku)

### 4. Princip asymetrie (*Assymetry*)

- Změnit symetrické na asymetrické (vyosené míchadlo pro zvýšení účinnosti míchání)
- zvýšit stupeň asymetrie (zvýšit poměr orientace výšky a šířky)

### 5. Princip sloučení (*Merging, Combining*)

- Sloučit podobné nebo související objekty v prostoru (dva trupy katamaránu pro stabilitu)
- Sloučit podobné nebo související operace v čase, udělat paralelní činnost (sekání a sběr trávy v sekačce)

### 6. Princip universálnosti (*Universality, Multi-functionality*)

- Plnit více funkcí objektem, eliminovat potřebu dalších částí objektu (tužka jako pravítko s vyznačenými číslicemi)

### 7. Princip "jeden objekt v druhém" (*Nestted Doll, Integration*)

- Umístit jeden objekt uvnitř druhého, druhého do třetího atd. (skládání židlí na sebe)
- Projít jedním objektem skrz druhý (zatahovací anténa)

### 8. Princip antitíže (*Anti-weight, Counterweight*)

- Kompenzovat hmotnost objektu spojením s jiným objektem zajišťujícím zvedání (balon zvedne reklamní nápis)

- Kompenzovat hmotnost objektu použitím aerodynamických, hydraulických, vztlakových a dalších sil (křídla zvedají loď při jízdě z vody)

#### **9. Princip předběžného antipůsobení (*Preliminary Anti-Action*)**

- Jestliže činnost vyvolává užitečné a škodlivé působení, vykonat opačnou činnost předem, aby se snížilo škodlivé působení (předběžné chladit objekt, aby se při práci nepřehřál)
- Předem provést takové změny objektu, které zabezpečí, že nedojde k nepřipustným změnám, namáhání při provozu (ocelové dráty použité v předepjatém betonu)

#### **10. Princip předběžného působení (*Preliminary Action*)**

- Provést potřebné působení objektu úplně nebo částečně předem k vykonání užitečné činnosti (perforovaný toaletní papír)
- Umístit objekty předem tak, aby mohly být uvedeny v činnost z nejvýhodnějšího místa bez ztráty času (chirurgické nástroje uspořádány tak, aby byly nejjednodušeji použity)

#### **11. Princip "předem podložená poduška" (*Beforehand Cushioning*)**

- Kompenzovat nízkou spolehlivost (životnost) objektu pomocí předem zabudovaných havarijních prostředků (bezpečnostní pásy a airbag v autě)

#### **12. Princip evipotenciálnosti (*Equipotentiality*)**

- Změnit podmínky práce tak, aby nebylo nutno objekt zvedat nebo spouštět (objekty přemístit válením lépe než nesením, srovnat výšku překládacích plošin)

#### **13. Princip "naopak" (*Inversion*)**

- Místo činnosti požadované podmínkami úlohy vykonat činnost opačnou (místo ohřevu ochlazení)
- Znehybnit pohybující se části objektu a rozpohybovat nepohyblivé části objektu (pohybovat oděvem místo jehlou v šicím stroji)
- Obrátit objekt vzhůru nohama, naruby (obrácení užití plechovky s barvou, barva utěsní vzduch z okolí)

#### **14. Princip sféroideálnosti (*Spheroidality, Curvature*)**

- Přejít od přímek ke křivkám, od rovin ke sférickým plochám, od krychlí a kvádrů ke koulím (vlnité desky pro zvýšení pevnosti)
- Použít válečky, kuličky, spirály, kupole (kuličkové pero)
- Přejít od přímočarého pohybu k rotačnímu, využít odstředivé síly (balónová kola místo válcových pro lepší manévrovatelnost)

#### **15. Princip dynamičnosti (*Dynamics, Dynamization*)**

- Dovolit změnu charakteristik, vlastností objektu nebo vnějšího prostředí tak, aby v každé fázi procesu měly optimální hodnoty (nastavitelné sedadlo v autě)
- Rozdělit objekt na části, schopné pohybovat se jedna vůči druhé (skládací metr, teleskopické ukazovátko)
- Je-li objekt nepohyblivý, nepružný, udělat jej pohyblivý, pružný, přizpůsobivý (pružný šroubovák pro použití za rohem)

#### **16. Princip částečného nebo nadbytečného působení (*Partial or Excessive Action*)**

- Jestliže je obtížné dosáhnout 100% požadovaného efektu, snažit se dosáhnout trochu méně nebo trochu více (pozlacení místo čistého zlata, testovat na vzorku)

**17. Princip přechodu na jiný rozměr (*Another Dimension*)**

- Přejít od pohybu objektu po přímce k pohybu po ploše a prostoru (2D pohyb na 3D pohyb)
- Použít mnohapatrové kompozice objektu místo jednopatrové (vícepatrové budovy, více jádrové kabely)
- Naklonit objekt nebo jej položit na bok
- Využít obrácenou stranu plochy (pracovní deska z obou stran, brousící pásek z obou stran)
- Využít světlo dopadající na sousední plochu nebo odvrácenou stranu (nepřímé osvětlení místností)

**18. Princip využití mechanických kmitů (*Mechanical Vibration*)**

- Uvést objekt do kmitavého pohybu (vibrační kartáček)
- Jestliže se uskutečňuje kmitavý pohyb, zvýšit jeho frekvenci (ultrasonické čištění)
- Využít rezonanční frekvenci (vysušování vody v mikrovlnce)
- Použít piezovibrátory místo mechanických vibrátorů (hodinky Quarz)
- Použít ultrazvukové kmitání kombinované s elektromagnetickým polem

**19. Princip periodického působení (*Periodic Action*)**

- Přejít od kontinuálního působení k periodickému (pulsnímu) působení (blikající světlo na sanitce)
- Je-li působení již periodické, změnit jeho amplitudu nebo frekvenci (typický zvuk sirény měnící vyšší a nižší frekvence)
- Využití pauzy mezi impulsy k vykonání jiného užitečného působení (provádění opravy, když se baterie nabíjejí)

**20. Princip plynulosti užitečného působení (*Continuity of Useful Action*)**

- Působit nepřetržitě bez přerušení, všechny části objektu musí pracovat s plným zatížením (kuličkové pero má kuličku pro plynulé dodávání inkoustu)
- Odstranit chody naprázdno a neproduktivní (přípravné) režimy (lod' dopraví banány jedním směrem a nazpátek naloží uhlí)

**21. Princip přeskoků (*Skipping*)**

- Provést proces nebo jeho jednotlivé části (škodlivé nebo nebezpečné) s velkou rychlostí (polykání léčiva v sérii krátkých usrknutí minimalizuje špatnou chuť)

**22. Princip "zvrátit škodu v užitek" (*Blessing in Disguise*)**

- Využít škodlivé faktory (okolí nebo prostředí) k získání užitečného efektu (recyklovaný odpad, elektrojiskrové obrábění)
- Odstranit škodlivý faktor jeho kombinací s jinými škodlivými faktory (odstranění uniklé ropy jejím spálením)
- Zesílit škodlivý faktor do takové intenzity, aby přestal být škodlivý (založit opačný požár ke kontrole oblasti lesního požáru)

**23. Princip zpětné vazby (*Feedback*)**

- Zavést zpětnou vazbu (plovoucí kulička ventilu řídí výšku vody v nádrži)
- Jestliže zpětná vazba již existuje - změnit ji, udělat ji přizpůsobivou okolí a podmínkám

**24. Princip prostředníka (*Intermediary, Mediator*)**

- Zavést objekt zprostředkující působení (olej snižuje tření)
- Dočasně připojit objekt který zmizí nebo je snadno odstranitelný (rukavice k přenosu horkých výrobků, použití vosku při malování vajíček)



**25. Princip samoobsluhy (*Self-Service*)**

- Objekt vykonává obslužné, pomocné i opravné operace sám (samoostřící nůžky, samoobslužné restaurace)
- Využít odpadní zdroje (látky, energie, odpadní teplo pro předeřhřátí)

**26. Princip kopírování (*Copying*)**

- Místo nedostupného, křehkého, složitého, drahého objektu využít jeho lacinou, jednoduchou kopii (letecké simulátory místo letadla)
- Nahradit objekt jeho optickou kopií (fotografie objektu pro analýzu informací)
- Jestliže jsou používány optické kopie, přejít k infračerveným nebo ultrafialovým kopiím (infračervená kamera pro noční vidění)

**27. Princip užití lacinější zničitelnosti místo drahé trvanlivosti (*Cheap Short-living Objects*)**

- Nahradit drahý objekt souborem laciných objektů a vzdát se při tom zajištění některých kvalit - trvanlivosti, opakovatelnosti (plastové šálky, pojistky, jednorázové jehly)

**28. Princip náhrady mechanické soustavy (*Mechanics Substitution*)**

- Nahradit mechanické prostředky senzory optickými, akustickými, tepelnými, čichovými (užití zvuku při zjišťování konce vrtání, užití zápachu při zlomení nástroje)
- Užití elektrických, magnetických a elektromagnetických polí k působení na objekt (elektromagnet zvedá kov)
- Nahradit pole statická dynamickými, nepohyblivá pohyblivými, nestrukturovaná strukturovanými (mísení kapalin magnetem s rotací externího magnetického pole)
- Použití polí ve spojení s feromagnetickými částicemi nebo objekty (magnetická levitující doprava)

**29. Princip využití pneumatiky a hydrauliky (*Pneumatics and Hydraulics*)**

- Místo pevných částí objektu použít kapaliny a plyny, nafukovací nebo kapalinou plněné polštáře (pneumatiky, hydraulické zvedáky)

**30. Princip využití pružných pláštů a tenkých vrstev (*Flexible Shells and Thin Films*)**

- Místo tuhých konstrukcí použít pružné skořepiny a tenké vrstvy (kontaktní čočky místo brýlí)
- Izolovat objekt od prostředí pružnými a tenkými vrstvami (igelitové sáčky, natření objektů)

**31. Princip použití pórovitých materiálů (*Porous Materials*)**

- Udělat objekt pórovitý nebo doplnit pórovité části (filtry pro oddělení materiálů, díry a bubliny pro snížení hmotnosti)
- Je-li objekt pórovitý, zaplnit póry látkou (póry naplněné mazivem, které se uvolňuje opracováním materiálu)

**32. Princip změny barvy, optických vlastností (*Change Optical Properties*)**

- Změnit zabarvení objektu, jeho částí nebo vnějšího prostředí (žlutá reflexní vesta do aut)
- Změnit stupeň průhlednosti objektu nebo vnějšího prostředí (skleněné dveře ledničky)
- Použít barevných přísad ke sledování špatně viditelných objektů nebo procesů (obarvení látek ke sledování jejich úniků)
- Jsou-li již barevné přísady použity, použít luminofory, značené atomy, iony, izotopy (ručičky hodinek s luminiscenční barvou svítí v noci)

**33. Princip stejnorodosti (*Homogeneity*)**

- Vytvořit další objekt vzájemně působící s objektem, ze stejného materiálu nebo materiálu s podobnými vlastnostmi (míchač vody vytvořený z ledu)

**34. Princip odhození a regenerace částí (*Discarding and Recovering*)**

- Odhodit, vypařit, rozpustit objekt, který splnil funkci v pracovním procesu a stal se zbytečným (kapsle léků se po použití rozpustí)
- Obnovit spotřebované části objektu během pracovního procesu (samoostření nože)

**35. Princip změny fyzikálně chemických parametrů (*Parameter Changes*)**

- Změnit fázový stav - pevný, kapalný, plynný (transport propan-butanu v kapalně formě)
- Změnit koncentraci nebo hustotu (užít gel, který lze lépe roztírat)
- Změnit stupeň pružnosti, elasticity (použít pružnější materiál pro tlumení vibrací)
- Změnit teplotu, tlak a další parametry (teplotně závislé vlastnosti měnící viskozitu, chuť)

**36. Princip využití fázových přechodů (*Phase Transition*)**

- Využít efekty vznikající při přechodech mezi fázemi - změna objemu, uvolnění tepla atd. (uvolňování stlačeného kapalného plynu se užívá při chlazení)

**37. Princip využití teplotní roztažnosti (*Thermal Expansion*)**

- Využít teplotní roztažnost nebo smrštivost materiálů (zahřátí šroubu k dosažení mikroposuvu)
- Použít několik materiálů s různým koeficientem teplotní roztažnosti (bimetalický termostat)

**38. Princip využití silných oksylichovadel (*Strong Oxidants*)**

- Nahradit vzduch vzduchem obohaceným o kyslík (kyslík v dýchacích přístrojích)
- Použití čistý kyslík (kyslík s acetylenem k řezání a tavení kovů s vysokým bodem tání)
- Působit na vzduch nebo kyslík ionizujícím zářením (použití ionizovaného kyslíku v léčebných terapiích)
- Použít kyslík obohacený ozónem
- Nahradit obohacený nebo ionizovaný kyslík ozónem (sterilizace nástrojů ozónem, dezinfekce pitné vody ozónem)

**39. Princip využití inertního prostředí (*Inert Atmosfere*)**

- Nahradit normální prostředí inertním (uložení součástí v prostředí dusíku zastavuje korozi)
- Přidat neutrální látky nebo části do objektu (přidání neutrálního plnidla do mýdla)
- Uskutečnit proces ve vakuu (odstranění bublinek a homogenizace materiálů)

**40. Princip použití kompozitních materiálů (*Composite Materials*)**

- Přejít od homogenní, stejnorodé struktury materiálů ke složené struktuře, vytvořené z více částí nebo vrstev, kde části plní různé funkce (sklolaminát k výrobě kánoí) [52]

# Příloha 3: Tabulka eliminace technických rozporů

Tabulka invenčních principů pro překonání technických rozporů (část 1) [34]

	Co je nutno změnit	Co se zhoršuje ?																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	Hmotnost pohyblivého objektu	-	-	15, 8, 29, 34	-	29, 17, 38, 34	-	29, 2, 40, 28	-	2, 8, 15, 38	8, 10, 18, 37	10, 36, 37, 40	10, 14, 35, 40	1, 35, 19, 39	28, 27, 18, 40	5, 34, 31, 35	-	6, 29, 4, 38	19, 1, 32	35, 12, 34, 31	-
2	Hmotnost nepohyblivého objektu	-	+	-	10, 1, 29, 35	-	35, 30, 13, 2	-	5, 35, 14, 2	-	8, 10, 19, 35	13, 29, 10, 18	13, 10, 29, 14	26, 39, 1, 28, 2, 10, 27	-	2, 27, 19, 6	28, 19, 32, 22	19, 32, 35	-	18, 19, 28, 1	
3	Délka pohyblivého objektu	8, 15, 29, 34	-	+	-	15, 17, 4	-	7, 17, 4, 35	-	13, 4, 8	17, 10, 4	1, 8, 35	1, 8, 10, 29	1, 8, 15, 34	8, 35, 29, 34	19	-	10, 15, 19	32	8, 35, 24	-
4	Délka nepohyblivého objektu	-	35, 28, 40, 29	-	+	-	17, 7, 10, 40	-	35, 8, 2, 14	-	28, 10	1, 14, 35	13, 14, 15, 7	39, 37, 35	15, 14, 28, 26	-	1, 10, 35	6, 35, 38, 18	3, 25	-	-
5	Plocha pohyblivého objektu	2, 17, 29, 4	-	14, 15, 18, 4	-	+	-	7, 14, 17, 4	-	29, 30, 4, 34	19, 30, 35, 2	10, 15, 36, 28	5, 34, 29, 4	11, 2, 13, 39	1, 15, 40, 14	6, 3	-	2, 15, 16	15, 32, 19, 13	19, 32	-
6	Plocha nepohyblivého objektu	-	30, 2, 14, 18	-	26, 7, 9, 39	-	+	-	-	-	1, 18, 35, 36	10, 15, 36, 37	-	2, 38	40	-	2, 10, 19, 30	35, 39, 38	-	-	-
7	Objem pohyblivého objektu	2, 26, 29, 40	-	1, 7, 4, 35	-	1, 7, 4, 17	-	+	-	29, 4, 38, 34	15, 35, 36, 37	8, 35, 36, 37	1, 15, 29, 37	28, 10, 1, 9, 14, 15, 7	6, 35, 4	-	34, 39, 10, 18	2, 13, 10	35	-	
8	Objem nepohyblivého objektu	-	35, 10, 19, 14	19, 14	35, 8, 2, 14	-	-	-	+	-	2, 18, 37	24, 35	7, 2, 35	34, 28, 35, 40	9, 14, 17, 15	-	35, 34, 38	35, 6, 4	-	-	-
9	Rychlost	2, 28, 13, 38	-	13, 14, 8	-	29, 30, 34	-	7, 29, 34	-	+	13, 28, 15, 19	6, 18, 38, 40	35, 15, 18, 34	28, 33, 1, 8, 3, 26, 1, 19, 35, 5	-	-	28, 30, 36, 2	10, 13, 19	6, 15, 35, 38	-	
10	Síla	8, 1, 37, 18	18, 13, 1, 28	17, 19, 9, 36	28, 10	1, 18, 36, 15	37	15, 9, 12, 37	2, 36, 18, 37	13, 28, 15, 12	+	18, 21, 11	10, 35, 40, 34	35, 10, 21	35, 10, 14, 27	19, 2	35, 10, 21	-	19, 17, 10, 37	-	
11	Napětí, tlak	10, 36, 37, 40	13, 29, 10, 18	35, 10, 36	35, 1, 14, 16	10, 15, 36, 28	10, 15, 36, 37	6, 35, 10	35, 24	6, 35, 36, 21	+	35, 4, 15, 10	35, 33, 2, 40	9, 18, 3, 40	19, 3, 27	35, 39, 19, 2	-	14, 24, 10, 37	-	-	
12	Tvar	8, 10, 29, 40	15, 10, 26, 3	29, 34, 5, 4	13, 14, 10, 7	5, 34, 4, 10	-	14, 4, 15, 22	7, 2, 35	35, 15, 34, 18	35, 10, 37, 40	34, 15, 10, 14	+	33, 1, 18, 4	30, 14, 10, 40	14, 26, 9, 25	22, 14, 19, 32	13, 15, 32	2, 6, 34	-	
13	Stabilita složení objektu	21, 35, 2, 39	26, 39, 1, 40	13, 15, 1, 28	37	2, 11, 13, 39	28, 10, 19, 39	34, 28, 35, 40	33, 15, 28, 18	10, 35, 21, 16	2, 35, 40	22, 1, 18, 4	+	17, 9, 15	13, 27, 10, 35	19, 3, 35, 23	35, 1, 32	32, 3, 27, 16	13, 19	27, 4, 29, 18	
14	Pevnost	1, 8, 40, 15	40, 26, 27, 1	1, 15, 8, 35	15, 14, 28, 26	3, 34, 40, 29	9, 40, 28	10, 15, 14, 7	9, 14, 17, 15	8, 13, 26, 14	10, 18, 3, 18	10, 30, 35, 40	13, 17, 35	+	27, 3, 26	30, 10, 40	35, 19	19, 35, 10	35	-	
15	Doba působení pohyblivého objektu	19, 5, 34, 31	-	2, 19, 9	-	3, 17, 19	-	10, 2, 19, 30	-	3, 35, 5	19, 2, 16	19, 3, 27	14, 26, 28, 25	13, 3, 35	27, 3, 10	+	19, 35, 39	2, 19, 4, 35	28, 6, 35, 18	-	
16	Doba působení nepohyblivého objektu	-	6, 27, 19, 16	-	1, 40, 35	-	-	-	35, 34, 38	-	-	-	39, 3, 35, 23	-	-	+	19, 18, 36, 40	-	-	-	-
17	Teplota	36, 22, 6, 38	22, 35, 32	15, 19, 9	15, 19, 9	3, 35, 39, 18	35, 38	34, 39, 40, 18	35, 6, 4	2, 28, 36, 30	35, 10, 3, 21	35, 39, 19, 2	14, 22, 19, 32	1, 35, 32	10, 30, 22, 40	19, 13, 39	19, 18, 36, 40	+	32, 30, 21, 16	19, 15, 3, 17	
18	Intenzita osvětlení	19, 1, 32	2, 35, 32	19, 32, 16	-	19, 32, 26	-	2, 13, 10	-	10, 13, 19	26, 19, 6	32, 30	32, 3, 27	35, 19	2, 19, 6	-	32, 35, 19	+	32, 1, 19	32, 35, 1, 15	
19	Spotřeba energie pohyblivým objektem	12, 18, 28, 31	-	12, 28	-	15, 19, 25	-	35, 13, 18	-	8, 35, 35	16, 26, 21, 2	23, 14, 25	12, 2, 29	19, 13, 17, 24	5, 19, 9, 28, 35, 6, 18	-	19, 24, 14	2, 15, 19	+	-	-
20	Spotřeba energie nepohyblivým objektem	-	19, 9, 6, 27	-	-	-	-	-	-	36, 37	-	-	27, 4, 29, 18	35	-	-	-	19, 2, 35, 32	-	+	-
21	Výkon	8, 36, 38, 31	19, 26, 17, 27	1, 10, 35, 37	-	19, 38	17, 32, 13, 38	35, 6, 38	30, 6, 25	15, 35, 2	26, 2, 36, 35	22, 10, 35	29, 14, 2, 15, 31	35, 32, 15, 31	26, 10, 28	19, 35, 10, 38	16	2, 14, 17, 25	16, 6, 19, 37	-	
22	Ztráty energie	15, 6, 19, 28	19, 6, 18, 9	7, 2, 6, 13	6, 38, 7	15, 26, 17, 30, 18	17, 7, 30, 18	7, 18, 23	7	16, 35, 38	36, 38	-	14, 2, 39, 6	26	-	-	19, 38, 7	1, 13, 32, 15	-	-	-
23	Ztráty látky (hmoty)	35, 6, 23, 40	35, 6, 22, 32	14, 29, 10, 39	10, 28, 24	35, 2, 10, 31	10, 18, 39, 31	1, 29, 30, 36	3, 39, 18, 31	10, 13, 28, 38	14, 15, 18, 40	3, 36, 37, 10	29, 35, 3, 5	14, 30, 31, 40	35, 28, 18	28, 27, 3, 18	27, 16, 18, 38	21, 36, 39, 31	6, 1, 6, 13	35, 18, 28, 27, 12, 31	
24	Ztráta informací	10, 24, 35	10, 35, 5	1, 26	26	30, 26	30, 16	-	2, 22	26, 32	-	-	-	-	10	10	-	19	-	-	-
25	Ztráty času	10, 20, 37, 35	10, 20, 26, 5	15, 2, 29, 14, 5	26, 4, 5, 16	10, 35, 17, 4	2, 5, 34, 10	35, 16	-	10, 37, 36, 5	37, 36, 4	4, 10, 34, 17	35, 3, 22, 5	29, 3, 28, 18	20, 10, 28, 18	28, 20, 10, 16	35, 29, 21, 18	1, 19, 26, 35, 38	1	-	
26	Množství látky (hmoty)	35, 6, 18, 31	27, 26, 18, 35	29, 14, 35, 18	-	15, 14, 29	2, 18, 40, 29	15, 20, 29	-	35, 29, 34, 28	35, 14, 3	10, 36, 14, 3	35, 14	15, 2, 17, 40	14, 35, 34, 10	3, 35, 10, 40	3, 35, 31	3, 17, 39	34, 29, 16, 18	3, 35, 31	
27	Spolehlivost	3, 8, 10, 40	3, 10, 8, 28	4	15, 29, 28, 11	17, 10, 14, 16	32, 35, 40, 4	3, 10, 14, 24	2, 35, 24	21, 35, 11, 28	8, 28, 10, 3	10, 24, 35, 19	35, 1, 16, 11	-	11, 28	2, 35, 3, 25	34, 27, 6, 40	3, 35, 10	11, 32, 13	21, 11, 27, 19	
28	Přesnost měření	32, 35, 26, 28	28, 35, 25, 26	28, 26, 5, 16	32, 28, 3, 16	26, 28, 32, 3	26, 28, 32, 3	32, 13, 6	-	28, 13, 32, 2	6, 28, 32	6, 28, 32	32, 35, 13	28, 6, 32	78, 6, 32	10, 26, 24	6, 19, 28, 24	6, 1, 32	3, 6, 32	-	
29	Přesnost výroby	28, 32, 13, 18	28, 35, 10, 28, 27, 9	10, 28, 29, 37	2, 32, 10	28, 33, 29, 32	2, 29, 18, 36	32, 23, 2	25, 10, 35	10, 28, 32	28, 19, 34, 36	3, 35	32, 30, 40	30, 18	3, 27	3, 27, 40	19, 26	3, 32	32, 2	-	
30	Škodlivé faktory působící na objekt	22, 21, 27, 39	2, 22, 13, 24	4	1, 18	22, 1, 33, 28	27, 2, 39, 37, 35	22, 23, 37, 35	19, 27	21, 22, 35, 28	13, 35, 39, 18	22, 2, 37	22, 1, 3, 35	35, 24, 30, 18	18, 35, 33, 28	22, 15, 17, 1, 40	22, 33, 35, 2	1, 19, 32, 13	1, 24, 6, 27	10, 2, 22, 37	
31	Škodlivé faktory vyvolané objektem	19, 22, 15, 39	35, 22, 1, 39	17, 15, 16, 22	-	17, 2, 18, 39	22, 1, 40	17, 2, 40	30, 18, 35, 4	35, 28, 3, 23	35, 28, 1, 40	2, 33, 27, 18	35, 1	35, 40, 27, 39	15, 35, 22, 2	15, 22, 33, 31	21, 39, 16, 22	22, 35, 24	19, 24, 39, 32	2, 35, 6, 18	
32	Snadnost výroby	28, 29, 15, 16	1, 27, 36, 13	1, 29, 13, 17	15, 17, 27	13, 1, 26, 12	16, 40	13, 29, 1, 40	35	35, 13, 8, 1	35, 12	35, 19, 1, 37	1, 28, 13, 27	11, 13, 1	1, 3, 10, 32	27, 1, 4	35, 16	27, 26, 18	28, 24, 27, 1	1, 4	
33	Snadnost užití	25, 2, 13, 15	6, 13, 1, 25	1, 17, 13, 12	-	1, 17, 13, 16	18, 16, 15, 39	1, 16, 35, 15	4, 18, 39, 31	18, 13, 34	28, 13, 35	2, 32, 12	15, 34, 29, 28	32, 35, 30	32, 40, 3, 28	29, 3, 8, 25	1, 16, 25	26, 27, 13	13, 17, 1, 24	1, 13, 24	
34	Snadnost oprav	2, 27, 35, 11	2, 27, 35, 11	1, 28, 10, 25	3, 18, 31	15, 13, 32	16, 25	25, 2, 35, 11	1	34, 9	1, 11, 10	13	1, 13, 2, 4	2, 35	11, 1, 2, 9	-	1	4, 10	15, 1, 13, 16	-	
35	Příspěvitost, univerzálnost	1, 6, 15, 34	19, 15, 39	35, 1, 29, 24	1, 35, 16	35, 30, 29, 7	15, 16	15, 35, 29	-	35, 10, 14	15, 17, 20	35, 16	15, 37, 1, 8	35, 30, 6	35, 3, 32, 13, 1, 35	2, 16	27, 2, 3, 35	6, 22, 26, 19, 35	-	-	
36	Složité zařízení	26, 30, 28, 13	2, 26, 35, 1	1, 19, 26, 24	26	14, 1, 13, 17	6, 36	34, 26, 6, 17	1, 16	34, 10, 28	26, 16	19, 1, 35	29, 13, 28, 15	2, 22, 17, 19	2, 13, 28	10, 4, 28	2, 17, 13	24, 17, 1, 28	27, 2, 29, 28	-	
37	Složité kontroly a měření	27, 26, 28, 13	6, 13, 28, 1	16, 17, 26	26	2, 13, 18, 17	2, 39, 30, 16	29, 1, 4, 16	2, 18, 26, 31	3, 4, 16, 35	30, 28, 37, 32	35, 36, 39	27, 13, 1, 39	11, 22, 27, 3	27, 3, 15, 28	19, 29, 39, 25	25, 34, 6, 35	2, 24, 26	35, 38	19, 35, 16	
38	Stupeň automatizace	28, 26, 18, 35	28, 26, 35, 10	14, 13, 17, 28	23	17, 14, 13	-	35, 13, 16	-	28, 10	2, 35	13, 35	15, 32, 1, 13	18, 1	25, 13	6, 9	-	26, 2, 19, 18, 10	8, 32, 19	2, 32, 13	
39	Produktivita, výrobnost, výkonnost	35, 26, 24, 37	28, 27, 15, 3	18, 4, 28, 38	30, 7, 14, 26	10, 26, 34, 31	10, 35, 17, 7	2, 6, 34, 10	35, 37, 10, 2	-	28, 15, 10, 36	10, 37, 14	14, 10, 34, 40	35, 3, 22, 39	29, 28, 10, 18	35, 10, 2, 18	20, 10, 16, 38	35, 21, 28, 10	26, 17, 19, 1	35, 10, 38, 19	



Tabulka invenčních principů pro překonání technických rozporů (část 2) [34]

Co je nutno změnit	Co se zhoršuje ?																		
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Hmotnost pohyblivého objektu	12, 36, 18, 31	6, 2, 34, 19	5, 35, 3, 31	10, 24, 35	10, 35, 20, 28	3, 26, 18, 31	1, 3, 11, 27	28, 27, 35, 26	28, 35, 26, 18	22, 21, 18, 27	22, 35, 31, 39	27, 28, 1, 36	35, 3, 2, 24	2, 27, 28, 11	29, 5, 15, 8	26, 30, 36, 34	28, 29, 26, 32	26, 35, 18, 19	35, 3, 24, 37
Hmotnost nepohyblivého objektu	15, 19, 18, 15	18, 19, 28, 15	5, 8, 13, 30	10, 15, 35	10, 20, 35, 26	19, 6, 18, 26	10, 28, 8, 3	18, 26, 28	10, 1, 35, 17	2, 19, 22, 37	35, 22, 1, 39	28, 1, 9, 32	6, 13, 1, 2	2, 27, 28, 11	19, 15, 29	1, 10, 26, 39	25, 28, 17, 15	2, 26, 35, 35	1, 28, 15, 35
Délka pohyblivého objektu	1, 35	7, 2, 35, 39	4, 29, 23, 10	1, 24	15, 2, 29	29, 35	10, 14, 29, 40	28, 32, 4	10, 28, 29, 37	1, 15, 17, 24	17, 15	1, 29, 17	15, 29, 35, 4	1, 28, 10	14, 15, 1, 16	1, 19, 26, 24	35, 1, 26, 24	17, 24, 26, 16	14, 4, 28, 29
Délka nepohyblivého objektu	12, 8	6, 28	10, 28, 24, 35	24, 26	30, 29, 14		15, 29, 14	32, 28, 3	2, 32, 10	1, 18		15, 17, 27	2, 25	3	1, 35	1, 26	26		30, 14, 7, 26
Plocha pohyblivého objektu	19, 10, 32, 18	15, 17, 30, 26	10, 35, 2, 39	30, 26	26, 4	29, 30, 6, 13	29, 9	26, 28, 32, 3	2, 32	22, 33, 28, 1	17, 2, 18, 39	13, 1, 26, 24	15, 17, 13, 16	15, 13, 10, 1	15, 30	14, 1, 13	2, 36, 26, 18	14, 30, 28, 23	10, 26, 34, 2
Plocha nepohyblivého objektu	17, 32	17, 7, 30	10, 14, 18, 39	30, 16	10, 35, 4, 2, 18, 40, 18	4	32, 35, 40, 4	26, 28, 32, 3	36	22, 33, 35	22, 1, 40	40, 16	16, 4	16	15, 16	1, 18, 36	2, 35, 30, 18	23, 34	10, 6, 2, 34
Objem pohyblivého objektu	35, 6, 13, 18	7, 15, 13, 16	36, 39, 34, 10	2, 22	2, 6, 34, 10	14, 1, 40, 11	26, 26, 16	25, 28, 2, 16	22, 21, 27, 35	17, 2, 40, 1	29, 1, 40	15, 13, 30, 12	10	15, 29	26, 1	29, 26, 4	35, 34, 16, 24	10, 6, 2, 34	35, 37, 10, 2
Objem nepohyblivého objektu	30, 6		10, 39, 35, 34		35, 16, 32, 18	35, 3	2, 35, 16		35, 10, 25	34, 39, 30, 18, 35, 4	35		1		1, 31	2, 17, 26			
Rychlost	19, 35, 38, 2	14, 20, 19, 35	10, 13, 28, 38	13, 26	10, 19, 29, 38	11, 35, 28, 32, 1	28, 32, 1	24	32, 25	2, 24, 35, 35	13, 8	32, 28, 13, 12	27	26	34	16	10, 18		
Síla	19, 35, 18, 37	14, 15	8, 35, 40, 5		10, 37, 36	14, 29, 18, 36	3, 35, 13, 21	35, 10, 23, 24	28, 29, 37, 18	1, 35, 40, 13, 3, 36, 18, 1	15, 37, 25	1, 28, 3	15, 17, 18, 20	15, 13, 10, 1	15, 17, 18, 20	26, 35, 10, 18	36, 37, 10, 19	2, 35	1, 28, 35, 37
Napětí, tlak	10, 35, 14	2, 36, 25	10, 36, 3, 37		37, 36, 4	10, 14, 36	10, 13, 19, 35	6, 28, 25	3, 35	22, 2, 37, 18	2, 33, 27, 18	1, 35, 16	11	2	35	19, 1, 35	2, 36, 37, 35	35, 24	10, 14, 35, 37
Tvar	4, 6, 2	14	35, 29, 3, 5		14, 10, 34, 17	36, 22	10, 40, 16	28, 32, 1	32, 30, 40	22, 1, 2, 35	35, 1	1, 32, 17, 28	32, 15, 26	2, 13, 1	1, 15, 29	16, 29, 1, 28	15, 13, 39	15, 1, 32	17, 26, 34, 10
Stabilita složení objektu	32, 35, 27, 31	14, 2, 39, 6	2, 14, 30, 40		35, 27	15, 32, 35		13	18	35, 24, 30, 18	35, 40, 27, 39	35, 19	32, 35, 30	30, 16	35, 30, 34, 2	2, 35, 22, 26	35, 22, 35, 22	1, 8, 35	23, 35, 40, 3
Pevnost	10, 26, 35, 28	35	35, 28, 31, 40		29, 3, 28, 10	29, 10, 27	11, 3	3, 27, 16	3, 27	18, 35, 37, 1	15, 35, 22, 2	11, 3, 10, 32	32, 40, 25, 2	27, 11, 3	15, 3, 32	2, 13, 25, 28	27, 3, 15, 40	15	29, 35, 10, 14
Doba působení pohyblivého objektu	19, 10, 35, 38		28, 27, 3, 18	10	20, 10, 28, 18	3, 35, 10, 40	11, 2, 13	3	3, 27, 16, 40	22, 15, 33, 28	21, 39, 16, 22	27, 1, 4	12, 27	29, 10, 27	1, 35, 13	10, 4, 29, 19, 39	35, 17, 14, 19	6, 10	35, 17, 14, 19
Doba působení nepohyblivého objektu	16		27, 16, 18, 38	10	28, 20, 10, 16	3, 35, 3, 31	34, 27, 6, 24	10, 26, 24		17, 1, 40, 33	22	35, 10	1	1	2		25, 34, 6, 35	1	20, 10, 16, 38
Teplota	2, 14, 17, 25	21, 17, 35, 38	21, 36, 29, 31		35, 28, 29, 31	3, 17, 30, 19, 35, 3	32, 19, 24	24		22, 33, 35, 2	22, 35, 2, 24	26, 27	26, 27	4, 10, 16	2, 18, 27	2, 17, 16	3, 27, 35, 26, 2	19, 15, 28, 35	2, 19, 15, 28, 35
Intenzita osvětlení	32	13, 16, 1, 6	13, 1	1, 6	19, 1, 26, 17	1, 19	11, 15, 32	3, 32	15, 19	35, 19, 32, 39	19, 35, 28, 26	28, 26	15, 17, 13, 16	15, 1, 1, 19	6, 32, 13	32, 15	2, 26, 10	2, 25, 16	
Spotřeba energie pohyblivým objektem	6, 19, 37, 18	12, 22, 15, 24	35, 24, 18, 5		35, 38, 19, 18	34, 23, 16, 18	19, 21, 11, 27	3, 1, 32		1, 35, 6, 27	2, 35, 6	28, 26, 30	19, 35	1, 15, 17, 28	15, 17, 13, 16	2, 29, 27, 13	35, 38	32, 2	12, 28, 35
Spotřeba energie nepohyblivým objektem			28, 27, 18, 31			3, 35, 31	10, 36, 23			10, 2, 22, 37	19, 22, 18	1, 4					19, 35, 16, 25		1, 6
Výkon	+	10, 35, 38	28, 27, 18, 38	10, 19	35, 20, 10, 6	4, 34, 19	19, 24, 26, 31	32, 15, 2	32, 2	19, 22, 31, 2	2, 35, 18	26, 10, 34	26, 35, 10, 34	35, 2, 10, 34	19, 17, 34	20, 19, 30, 34	19, 35, 16	28, 2, 17	28, 35, 34
Ztráty energie	3, 38	+	35, 27, 2, 37	19, 10	10, 18, 32, 7	7, 18, 25	11, 10, 35	32		21, 22, 35, 2	21, 35, 2, 22		35, 32, 1	2, 19	7, 23	35, 3, 15, 23	2	28, 10, 29, 35	
Ztráty látky (hmoty)	28, 27, 18, 38	35, 27, 2, 31	+		15, 18, 35, 10	6, 3, 10, 24	10, 29, 31, 28	16, 34, 31, 28	35, 10, 24, 31	33, 22, 10, 1, 34	15, 34, 29	32, 28, 2, 2, 35, 34	27	15, 10, 2	35, 10, 28, 24	35, 18, 10, 13	35, 10, 13	28, 35, 10, 23	
Ztráta informací	10, 19	19, 10		+	24, 26, 28, 32	24, 28, 35	10, 28, 23			22, 10, 1	10, 21, 32	32	27, 22				35, 33	35	13, 23, 15
Ztráty času	35, 20, 10, 6	10, 5, 18, 32	35, 18, 10, 39	24, 26, 28, 32	+	35, 38, 18, 16	10, 30, 4	24, 34, 28, 32	24, 26, 28, 18	35, 18, 34	35, 22, 18, 39	35, 28, 34, 4	34	32, 1, 10	35, 38	6, 29	18, 28, 32, 10	24, 28, 35, 30	
Množství látky (hmoty)	35	7, 18, 25	6, 3, 10, 24	24, 28, 35	35, 38, 18, 16	+	18, 3, 28, 40	13, 2, 28	33, 30	35, 33, 29, 31	35, 40, 39	29, 1, 35	35, 29, 25, 10	2, 32, 10, 25	15, 3, 29	3, 13, 27, 10	8, 35	13, 29, 3, 27	
Spolehlivost	21, 11, 26, 31	10, 11, 35	10, 35, 29, 39	10, 28	10, 30, 4	21, 28, 40, 3	+	32, 3, 11, 23	11, 32, 1	27, 35, 2, 40, 26	27, 17, 40	1, 11	13, 35, 8, 24	13, 35, 1	27, 20, 28	11, 13, 27, 38	1, 35, 29, 38	1, 35, 29, 38	
Přesnost měření	3, 6, 32	26, 32, 27	10, 16, 31, 28		24, 34, 28, 32	2, 6, 32	5, 11, 1, 23	+		28, 24, 22, 26	3, 33, 39, 10	6, 35, 25, 18	1, 13, 17, 34	1, 32, 13, 11	13, 35, 2	27, 35, 10, 34	26, 24, 32, 28	28, 2, 10, 34	10, 34, 28, 32
Přesnost výroby	32, 2	13, 32, 2	35, 31, 10, 24		32, 26, 28, 18	32, 30	11, 32, 1		+	26, 28, 10, 36	4, 17, 34, 26	1, 32, 35, 23	25, 10		26, 2, 18		26, 28, 18, 23	10, 18, 32, 39	
Škodlivé faktory působící na objekt	19, 22, 31, 2	21, 22, 35, 2	32, 22, 19, 40	22, 10, 2	35, 18, 34	35, 33, 29, 31	27, 24, 2, 40	28, 33, 23, 26	26, 28, 10, 18	+	24, 35, 2	2, 25, 28, 39	35, 10, 2	35, 11, 22, 31	22, 19, 29, 40	22, 19, 29, 40	33, 3, 34	22, 35, 13, 24	
Škodlivé faktory vyvolané objektem	2, 35, 18	21, 35, 2, 22	10, 1, 34	10, 21, 29	1, 22	3, 24, 39, 24, 2, 40, 39	3, 33, 26	4, 17, 34, 26		+					19, 1, 31	2, 21, 27, 1	2	22, 35, 18, 39	
Snadnost výroby	27, 1, 12, 24	19, 35	15, 34, 33	32, 24, 18, 16	35, 28, 34, 4	35, 23, 1, 24		1, 35, 12, 18		24, 2		+	2, 5, 13, 16	35, 1, 11, 9	2, 13, 15	27, 26, 1, 6	6, 28, 11, 1	8, 28, 1	35, 1, 10, 28
Snadnost užití	35, 34, 2, 10	2, 19, 13	28, 32, 2, 24	4, 10, 27, 24	4, 28, 10, 34	12, 35	17, 27, 8, 40	25, 13, 2, 34	1, 32, 35, 2, 25, 28, 39	2, 5, 12	+	12, 26, 1, 32	15, 34, 1, 16	32, 26, 12, 17	1, 34, 12, 1	15, 1, 28	15, 1, 28	15, 1, 28	
Snadnost oprav	15, 10, 32, 2	15, 1, 32, 2	2, 35, 34, 27		32, 1, 10, 25	2, 28, 10, 25	11, 10, 1, 16	10, 2, 13	25, 10	35, 10, 2, 16	1, 35, 11, 10	1, 12, 26, 15	+	7, 1, 4, 16	35, 1, 13, 11	34, 35, 7, 13	1, 32, 10	1, 32, 10	
Přizpůsobitelnost, univerzálnost	19, 1, 29	18, 15, 1	15, 10, 2, 13		35, 28	3, 35, 15	35, 13, 8, 24	35, 5, 1, 10		35, 11, 32, 31	1, 13, 31	15, 34, 1, 16	1, 16, 7, 4	+	15, 29, 37, 28	1	27, 34, 35	35, 28, 6, 37	
Složitost zařízení	20, 19, 30, 34	10, 35, 13, 2	35, 10, 28, 29		6, 29	13, 3, 27, 10	13, 35, 1	2, 26, 10, 34	26, 24, 32	22, 19, 29, 40	19, 1	27, 26, 1, 13	27, 9, 26, 24	1, 13	29, 15, 28, 37	+	15, 10, 37, 28	15, 1, 24	12, 17, 28
Složitost kontroly a měření	18, 1, 16, 35, 3, 15, 10	35, 3, 15, 19	1, 18, 10, 24	35, 33, 27, 22	18, 28, 32, 9	3, 27, 29, 18	27, 40, 26, 24, 32, 28	22, 19, 29, 28	2, 21	5, 28, 11, 29	2, 5	12, 26	1, 15	15, 10, 37, 28	+	34, 21	35, 18	35, 18	5, 12, 35, 26
Stupeň automatizace	28, 2, 27	23, 28	35, 10, 18, 5	35, 33	24, 28, 35, 30	35, 13	11, 27, 32	28, 26, 18, 23	2, 33	2	1, 26, 13	1, 12, 34, 3	1, 35, 13	27, 4, 1, 35	15, 24, 10	34, 27, 25	+	5, 12, 35, 26	

## Příloha 4: Efekty a jejich použití

### Fyzikální efekty a jejich využití

#### 1. Měření teploty

Jev tepelné roztažnosti, tepelná roztažnost a s tím spojená změna vlastní frekvence, termoelektrické jevy, změna optických, elektrických a magnetických vlastností látek s teplotou, měření spektra záření, přechod přes Curieovu teplotu, Hopkinsonův jev, Barkhausenův jev.

#### 2. Snížení teploty

Fázové přechody, Joule-Thomsonův jev, magnetokalorický jev, termoelektrické jevy.

#### 3. Zvýšení teploty

Absorpce záření látkou, elektrický ohřev, jev elektromagnetické indukce, dielektrický ohřev, vířivé proudy, termoelektrické jevy, povrchový jev (skinefekt), elektrické výboje.

#### 4. Stabilizace teploty

Bimetaly, fázové přechody, přechod přes Curieovu teplotu.

#### 5. Indikace polohy a pohybu objektu

Značkování látek použitím luminoforu, (transformace vnějšího pole) nebo feromagnetika (vytvoření vlastního pole), odraz a emise světla, fotoelektrický jev, Rentgenovo a radioaktivní záření, luminiscence, změna elektrického a magnetického pole, elektrické výboje, Dopplerův jev, deformace.

#### 6. Přemísťování objektů

Působení magnetického pole na objekt nebo na feromagnetikum, které je spojené s objektem, působení elektrického pole na elektricky nabitý předmět, tlakové působení kapaliny nebo plynu, mechanické kmity, odstředivá síla, jev tepelné roztažnosti.

#### 7. Řízení pohybu kapalin a plynů

Kapilární jev, osmóza, Thomsonův jev, kmitavý pohyb, odstředivá síla.

#### 8. Řízení proudění aerosolů (prachu, dýmu, mlhy)

Elektrizace, elektrické a magnetické pole.

#### 9. Promíchávání směsí, tvorba roztoků a emulzí

Ultrazvuk, kavitace, difuze, elektrická pole, magnetické pole ve vazby s feromagnetickou látkou, elektroforéza.

#### 10. Separace směsí

Elektroseparace, magnetoseparace, odstředivá síla, sorpce, difuze, osmóza.

#### 11. Stabilizace polohy objektu

Elektrické pole, magnetické pole, fixace v kapalinách tuhnoucích v magnetickém nebo elektrickém poli, gyroskopický jev, reaktivní pohyb.

#### 12. Silové působení, regulace sil, vytváření velkých tlaků

Působení magnetického pole prostřednictvím feromagnetických látek, fázové přechody, jev tepelné roztažnosti, odstředivá síla, použití výbušných látek, elektrohydraulický jev, optickohydraulický

jev, osmóza, změna hydrostatického tlaku způsobená změnou hustoty magnetické nebo elektricky vodivé kapaliny v magnetickém poli.

### **13. Změna tření**

Působení záření, kmitavý pohyb.

### **14. Destrukce objektu**

Elektrický výboj, elektrohydraulický jev, rezonance, ultrazvuk, kavitace, indukované záření.

### **15. Akumulace mechanické a tepelné energie**

Pružné deformace, gyroskopický jev, fázové přechody.

### **16. Přenos energie mechanické, tepelné, zářivé, elektrické**

Deformace, kmitavý pohyb, záření, tepelná vodivost, konvekce, jev odrazu světla (světlovody), indukované záření, elektromagnetická indukce, supravodivost.

### **17. Vzájemné působení mezi pohyblivým (měnícím se) a nepohyblivým (neměnným) objektem**

Využití elektromagnetických polí, přechod od "látkových" vazeb k polím.

### **18. Měření rozměrů objektu**

Měření vlastností frekvence kmitání, nanášení a sčítání magnetických a elektrických značek.

### **19. Změna rozměrů objektu**

Jev tepelné roztažnosti, deformace, magnetostrikční jev, elektrostrikční jev, piezoelektrický jev.

### **20. Kontrola stavu a vlastností povrchu**

Elektrický výboj, odraz světla, elektronová emise, záření.

### **21. Změna povrchových vlastností**

Tření, adsorpce, difuze, elektrický výboj, mechanický a akustický kmitavý pohyb, ultrafialové záření.

### **22. Kontrola stavu a vlastností objektu**

Zavedení "značek" - látek, které transformují vnější pole (luminofory) nebo které vytvářejí vlastní pole (feromagnetika) a závisí na stavu a vlastnostech zkoumané látky, změna měrného elektrického odporu v závislosti na změně struktury a vlastností objektu, interakce se světlem, elektrooptické jevy, magnetooptické jevy, polarizované světlo, Roentgenovo a radioaktivní záření, elektronový paramagnetismus, jaderná magnetická rezonance, magnetomechanické jevy, přechod přes Curieovu teplotu, Hopkinsonův jev, Barkhausenův jev, měření vlastní frekvence, kmitání objektu, ultrazvuk, Mössbauerův jev, Hallův jev.

### **23. Změna vlastností objektu**

Změna vlastností kapaliny (hustoty, viskozity) působením elektrického a magnetického pole, zavedení feromagnetické látky a působení magnetického pole, tepelné působení, fázové přechody, ionizace vlivem elektrického pole, ultrafialové záření, Roentgenovo záření, radioaktivní záření, deformace, difuze, elektrické pole, magnetické pole, termoelektrické jevy, termomagnetické jevy, magnetooptické jevy, kavitace, vnitřní fotoelektrický jev.

**24. Vytvoření zadané struktury, stabilizace struktury objektu**

Interference vlnění, stojaté vlnění, magnetické pole, fázové přechody, mechanické vlnění, akustické vlnění, kavitace.

**25. Indikace elektrických a magnetických polí**

Osmóza, zelektrizování, elektrický výboj, piezoelektrický jev, elektronová emise, elektrooptické jevy, Hopkinsonův jev, Barkhausenův jev, Hallův jev, jaderná magnetická rezonance, gyromagnetický jev, magnetooptické jevy.

**26. Indikace záření**

Opticko-akustický jev, jev tepelné roztažnosti, fotoelektrický jev, luminiscence, ionizace, fotopružnostní jev.

**27. Generování elektromagnetického záření**

Jev indukovaného záření, tunelový efekt, luminiscence, Gannův jev, Čerenkovův jev.

**28. Řízení elektromagnetického pole**

Stínění, fokusace, změna stavu prostředí (např. zvětšení nebo zmenšení jeho elektrické vodivosti), změna tvaru povrchu těles interagujících s polem.

**29. Řízení světelného toku, modulace světla**

Lom a odraz světla, elektrooptické jevy, magnetooptické jevy, fotopružnostní jev, Kerrův jev, Faradayův jev, Gannův jev.

**30. Inicie a intenzifikace chemických pochodů**

Teplo, tlak, ultrazvuk, kavitace, ultrafialové záření, Rentgenovo záření, radioaktivní záření, elektrický výboj.

**Chemické jevy a jejich použití****A) PŘEMĚNA LÁTKY****1. Přenos v prostoru**

Transportní reakce, termochemická metoda, ve stlačených plynech, v hydridech, jako část budoucí sloučeniny, v absorbentech, jako výbušná směs, molekulární vazby (samospoj), komplexy, tekuté membrány.

**2. Změna hmoty**

Transportní reakce, termochemická metoda, přechod do chemické sloučeniny, přechod do hydrátového stavu, přechod do hydridního spojení (hydridní vazba) v exotermických reakcích.

**3. Změna koncentrace**

Transportní reakce, přechod do chemického spojení a vyloučení, přechod do hydrátového stavu, ve stlačených plynech, v hydridech, změna chemické rovnováhy, absorpce-desorpce, polopropustné membrány, komplexy, tekuté membrány.

**4. Změna specifické hmotnosti**

Přechod do chemické sloučeniny, přechod do hydrátového stavu, hydridy.

**5. Změna objemu**

Přechod do chemické sloučeniny, transportní reakce, přechod do hydrátového stavu, rozpuštění ve stlačených plynech, přechod na hydridy, v exotermních reakcích, v termochemických reakcích, rozpuštění, při výbuchu.

**6. Změna tvaru**

Transportní reakce, termochemické působení, plynné hydráty, stlačené plyny, hydridy, tavení - tuhnutí.

**7. Změna elektrických vlastností**

Hydridování, vytvoření oxidů, rozpuštění solí, při samovolné vysokoteplotní syntéze, neutralizace elektrických výbojů (nábojů), změna chemické rovnováhy, elektrizace oxidací, plynů při radioaktivním záření, elektrochromů, hydrofilní vrstva, komplexy.

**8. Změna optických vlastností**

Vytvoření oxidů, barvy, generování světla, změna propouštění světla v monomolekulárních vrstvách.

**9. Změna magnetických vlastností**

Hydridováním, při samovolné vysokoteplotní syntéze, okysličovadly, v klastrech.

**10. Změna biologických vlastností**

Přechod do chemické sloučeniny, ozonizace, hydrofilie - hydrofobie, komplexy.

**11. Změna chemických vlastností**

Transportní reakce, termochemické působení, chemické slučování plynů, plynné hydráty, stlačené plyny, hydridování, vytvoření oxidů, exotermické reakce, termochemické reakce, tavení-tuhnutí, rozpouštění vrstev, při samovolné vysokoteplotní syntéze, změna chemické rovnováhy, ozonizace ve fotochromech, hydrofilie - hydrofobie, přechod na mikroúroveň, komplexy, tekuté membrány.

**12. Změna fázového stavu**

Transportní reakce, termochemické působení, chemické slučování plynů, plynné hydráty, stlačené plyny, hydridy, tavení - tuhnutí, rozpouštění vrstev, extrakce z rozpouštědel, absorpce - desorpce fotochromů.

**13. Zneškodňování (destrukce)**

Přechod do chemické sloučeniny, přechod do hydrátové vazby, ve stlačených plynech, hydridování, exotermické reakce, termochemické reakce, rozpouštění, ozonizace, komplexy, tekuté membrány.

**14. Stabilizace (časové omezení aktivity)**

Chemické sloučení plynů, přechod do hydrátového stavu, ve stlačených plynech, v hydridech, tavení-tuhnutí, v absorbentech, komplexy.

**15. Přeměna dvou a více látek v jednu**

Transportní reakce, termochemická metoda, chemické sloučení plynů, plynné hydráty, stlačené plyny, hydridy, okysličené - vytváření oxidů, exotermické reakce, termochemické reakce, rozpouštění, sloučení vzájemně aktivních látek, ozonizace, fotochromismus, komplexy.



**16. Ochrana jedné látky proti proniknutí druhé**

Cestou chemického sloučení jedné z nich, ochrana hydráty, rozpouštění ve stlačených plynech, ochrana pomocí hydridů, spalování, okysličování, pomocí okysličovadel, hydrofilie - hydrofobie, polopropustné membrány, tekuté membrány.

**17. Nanesení jedné látky na povrch druhé**

Transportní reakce, v hydrátovém stavu, pomocí hydridů, okysličení-vytváření oxidů, sloučení vzájemně aktivních látek, fotochromů, elektrochromů, molekulární vazby, hydrofilie - hydrofobie, tekuté membrány.

**18. Spojení různorodých látek (upevnění, ucpání)**

Pomocí hydrátů, pomocí hydridů, svářením, tavení-tuhnutí, molekulární spojení.

**19. Rozdělení látek (vydělení jedné z druhé)**

Transportní reakce, extrakce chemicky spojených plynů, ze stlačených plynů, z hydridů, obnovení z oxidů, změna chemické rovnováhy, z absorbentů, z ozonidů, hydrofilnost - hydrofobnost, polopropustné membrány, komplexy, tekuté membrány.

**20. Zničení (odstranění, degradace) látky**

Transportní reakce, termochemická metoda, odstranění chemicky sloučených látek, extrakce ze stlačených plynů, nasycení vodíkem, degradace oxidem, spalování, rozpouštění, změna chemické rovnováhy ve směsích, sloučení vzájemně aktivních látek, okysličení, výbuch, komplexy.

**21. Rozmíchání jedné látky v druhé**

Transportní reakce, chemické sloučení plynů, plynné hydráty, ve stlačených plynech, v hydridech, v absorbentech, rozpouštění, komplexy, molekulární vazby, tekuté membrány.

**22. Získání nových látek (syntéza)**

Transportní reakce, termochemická metoda, chemické sloučení plynů, plynné hydráty, hydridy, vytvoření z oxidů, elektrotermické reakce, termochemické reakce, sloučení vzájemně aktivních látek, při změně chemické rovnováhy, ozonizace okysličovadel, ultra-okysličovadel, ozonidů, molekulární vazby, komplexy.

**23. Organizace uzavřené látkové výměny (pohlčení - vydělení)**

Transportní reakce, chemické sloučení - vydělení plynů, rozpuštění ve stlačených plynech, hydridy, absorpce - desorpce, pomocí ozonidů, v elektrochromech, komplexy, tekuté membrány.

**24. Sloučení látek z atomů**

Transportní reakce, extrakce z chemické sloučeniny, extrakce ze stlačených plynů, z hydridů, obnovení z oxidů, samovolnou vysokoteplotní syntézou, sloučení vzájemně aktivních látek, molekulární vazby, polopropustné membrány, přechod molekula - agregát, komplexy, tekuté membrány.

**25. Získání látek s dobře organizovanou strukturou (získání čistých látek)**

Transportní reakce, v chemických vazbách, extrakce ze stlačených plynů, z hydridů, samovolnou vysokoteplotní syntézou, molekulární vazby, komplexy, tekuté membrány.

**26. Průchod jedné látky druhou**

Transportní reakce, termochemická metoda, v chemické vazbě, ve stlačených plynech, v hydridech, průnik vodíku kovy, v termochemických reakcích, použitím fázového přechodu, při změně chemické rovnováhy, v absorbovaném stavu, polopropustné membrány, komplexy, tekuté membrány.

## **B) PŘEMĚNA ENERGIE**

### **27. Získání tepla (zavedení tepelné energie do systému)**

Spalování plyných hydrátů, spalování vodíku, pomocí hydridů, látky uvolňující energii, exotermické reakce, samovolná vysokoteplotní syntéza, použitím silných okysličovadel, při rozkladu ozónu.

### **28. Získání chladu (odvedení tepelné energie ze systému)**

Rozložení plynohydrátů, pomocí hydridů, endotermické reakce, při rozpuštění.

### **29. Získání mechanických tlaků**

Rozklad plynohydrátů, rozklad hydridů, zpevnění kovů při naplavitování, roztažení kovů, při rozkladu tekutého ozónu.

### **30. Generování světelného záření**

Chemoluminiscence.

### **31. Akumulace tepla**

V chemických reakcích, při fázových přechodech.

### **32. Akumulace chladu**

V hydridech.

### **33. Akumulace světelné energie**

Fotochromismus.

### **34. Transport tepelné energie**

Transportní reakce, v hydridových akumulátorech.

### **35. Transport (svod) statické elektřiny**

Metalizace tkanin, působení ozonem, hydrofilní úprava povrchu.

### **36. Regulace světelné energie**

Fotochromismus.

### **37. Energetické působení na látku**

Koronový výboj, radioaktivní záření, kavitace, UV záření, elektrické pole, elektrický tok, elektromagnetické pole, infračervené záření, vysokofrekvenční výboj, viditelné světlo, tepelná energie.

## **C) PŘEMĚNA INFORMACE**

### **38. Indikace informace o látce**

Vodík, organicko - kovových příměsí v plynu, ozonu, chemoluminiscence v reakcích okysličení, fluorescence, hydrofotografie, hydrodynamika toků.

### **39. Indikace informace o energii**

Tepelné při fázovém přechodu, tepelné v termochromech, koronového výboje při tvorbě ozonu, radioaktivního záření při tvorbě ozonu, radioaktivního záření v radiochromech, viditelného záření ve fotochromech, UV záření ve fotochromech.

## Geometrické efekty a jejich použití

### 1. Regulace geometrických a jim odpovídajících fyzikálních parametrů

- délky: využití spirál, jednostranných povrchů, hyperbol.
- plochy včetně překrytí: využití pásků, spirál, jednostranných povrchů, elips, parabol.
- objemu: využití spirál, kuliček, hyperbol.
- poloměru křivky: využití spirál, kuliček, elips, parabol.
- změny kroku šneku: využití spirál.
- orientace návinu, přemístění tělesa, získání otisku: použití klínů, spirál, jednostranných povrchů, kuliček, elips.
- rozměrů otvorů, buněk: použití spirál, kuliček, hyperbol.

### 2. Spojení dílů, dočasná fixace

- Použití sybkých materiálů, pásků, kuliček, hyperbol, trojúhelníků Relo.

### 3. Získání otisků povrchů a regulace profilu

- Použití sybkých materiálů, pásků, spirál, hyperbol.

### 4. Získání opěr, základěn

- použití sybkých materiálů, kuliček, elips.

### 5. Přenos a regulace síly, momentu

- Použití sybkých materiálů, jednostranných povrchů, kuliček, elips.

### 6. Koncentrace, lokalizace a intenzifikace působení

- Použití sybkých materiálů, pásků, spirál, kuliček, elips, parabol.

### 7. Zrušení škodlivých VEPOLů

- Použití klínů, sybkých materiálů, pásků, parabol.

### 8. Opotřebení

- Použití sybkých materiálů, pásků, kuliček.

### 9. Orientace předmětů

- Využití pásků.

### 10. Zrychlení, přemístění

- Použití pásků, jednostranných povrchů.

### 11. Řízení pohybu kapalin a sybkých látek

- Použití sybkých látek, elips.

### 12. Vytvoření vibrací

- Použití kuliček, elips, trojúhelníku Relo.

### 13. Získání citlivých spojení a vzpěr

- Použití kuliček. [52]